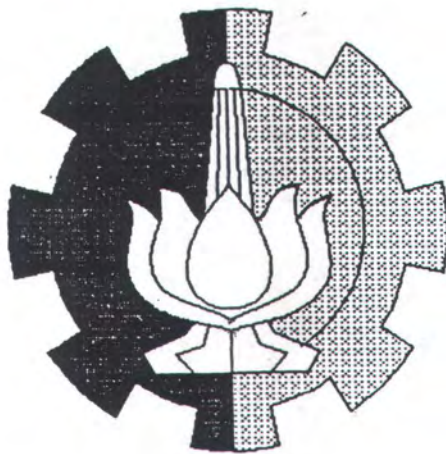


3100097008680

TUGAS AKHIR (NA 1701)

**STANDARD OVER MATCHING PADA
MATERIAL BAJA SS 41 AKIBAT BEBERAPA
KALI PROSES PENGELASAN**



RSke

671.520 422

Bud

S-1

1996

OLEH :

SETIA BUDI

NRP. 490 410 0342

**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

1996

PERPUSTAKAAN	
Tgl. Terima	23 SEP 1996
Terima	H
No. Angk	6552



JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS

SURAT KEPUTUSAN TUGAS AKHIR (NA 1701)

No. : 32 /PT12.FTK2/M/199 6

Nama Mahasiswa : Setia Budi
Nomor Pokok : 4904100342
Tanggal diberikan tugas : 14 Maret 1996
Tanggal selesai tugas : 26 Juli 1996
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Soewiryo, M.Eng
2.

tema / judul tugas akhir yang diberikan :

STANDARD OVER MATCHING PADA MATERIAL BAJA SS 41 AKUPAT BEBERAPA KALI-
PROSES PENGELASAN-

son

Surabaya, 02 April 1996

Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS

Ketua



Ir. Soewiryo

NIP. 130 532 029

Pembusutan :

Yth. Dekan FTK-ITS.

Yth. Dosen Pembimbing.

Arsip.

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

PROSES VERBAL UJIAN TUGAS AKHIR (NA 1701)

1. Nama mahasiswa : Setia Budi
2. N.R.P. : 4904100342
3. Semester : GASA / Genap *) 19 95. . / 19 96. .
4. Hari / Tanggal : Selasa, 6 Agustus 1996
5. Waktu yang disediakan : 90 (sembilanpuluh) menit
6. Waktu ujian : Pukul . . 07.30 s/d Pukul . . 09.00
7. Tim penguji :

N a m a

Tanda Tangan

K e t u a

: Ir. Soewify, M.Eng.

Anggota

1. Ir. P. Eko Panunggal, Ph.D

2. Ir. Hari Supomo, M.Sc

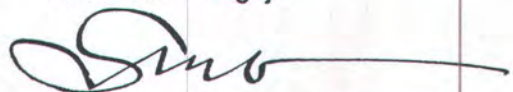
3. Ir. Setijoprajudo, M.Sc

4. Ir. Budie Santosa

8. Kejadian-kejadian penting selama ujian berlangsung :

9. Perbaikan yang harus dilakukan (maksimum 2 minggu) :

Surabaya, 06 Agustus 19 96
Ketua Tim Penguji



Ir. Soewify, M.Eng.

*) = Coret yang tidak perlu

LEMBAR PENGESAHAN

Surabaya, Juli 1996

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Soeweify', with a long horizontal line extending to the right.

Ir. Soeweify, M. Eng.

NIP 130 368 597

ABSTRAK

Pada proses pengelasan, biasanya akan terjadi deformasi, retak ataupun cacat-cacat lain yang mengakibatkan adanya perbaikan ataupun pengelasan ulang. Hal ini banyak terjadi pada proses penyambungan pelat maupun pada proses reparasi lambung kapal sehingga akan menyebabkan berubahnya susunan metalurgi material baja.

Pada tugas akhir ini dilakukan penelitian pada pelat baja SS 41 (mild steel) untuk ketebalan 12 mm, dengan cara dilakukan beberapa kali (dalam hal ini sampai dengan 4 kali) proses pengelasan ulang. Pada setiap tahap pengelasan dibuat spesimen dan dilakukan pengujian, antara lain : uji kekerasan (Brinell), uji impact dan untuk mengetahui struktur mikronya dilakukan foto mikro.

Dari analisa hasil pengujian didapatkan bahwa setelah material mengalami proses pengelasan ulang sampai dengan 4 kali / tahap maka nilai kekerasan material meningkat dan ketangguhannya menurun atau dengan kata lain material menjadi keras dan brittle, terutama pada daerah HAZ. Berdasarkan analisa tersebut akhirnya dapat diketahui standard over matching material yaitu sampai dimana material SS 41 tersebut dapat dilakukan proses pengelasan ulang.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT dengan telah selesainya penulisan Tugas Akhir dengan judul, "STANDARD OVER MATCHING PADA MATERIAL BAJA SS 41 AKIBAT BEBERAPA KALI PROSES PENGELASAN". Tugas Akhir ini merupakan prasyarat dalam menyelesaikan studi di jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS.

Tak lupa penulis menyampaikan terima kasih yang teramat dalam kepada :

1. Ibu, Bapak dan adik-adikku yang telah memberi dorongan moril dan materiil sehingga pengerjaan Tugas Akhir ini berjalan lancar.
2. Bapak Ir. Soejitno dan Bapak Ir. Anjar Suharto selaku ketua jurusan dan sekretaris jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS.
3. Bapak Ir. Soeweify, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, saran dan petunjuk dalam menyelesaikan penelitian dan penulisan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Ir. Heri Supomo, M.Sc, selaku Kepala Laboratorium Produksi FTK ITS beserta staf, yang telah memberi ijin dan membantu dalam penggunaan fasilitas Lab untuk pengerjaan dan pengelasan spesimen.
5. Direktur Politeknik Perkapalan ITS dan teknisi Laboratorium Material Tes beserta staf, yang telah memberi ijin dan membantu dalam melakukan pengujian kekerasan, impact dan fotomikro.
6. Rekan Anwar, Marsis, Asrori, dan rekan angkatan P-30 serta teman kost GL28-A, yang telah memberikan bantuan fasilitas komputer dan dorongan moril.

7. Istri tercinta, yang telah memberikan dorongan moril selama mengerjakan Tugas Akhir ini.

Sebagai akhir kata penulis menyadari sepenuhnya bahwa tulisan dan hasil penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu penulis senantiasa mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun sehingga dapat mengembangkan hasil penelitian ini demi kemajuan bersama dan semoga tulisan ini berguna bagi kita semua. Amin.

Surabaya, Juli 1996

Penulis

Setia Budi

DAFTAR ISI

Abstrak.....	i
Kata Pengantar.....	ii
Daftar Gambar.....	vii
Daftar Tabel.....	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar belakang	1
1.2. Tujuan Penulisan.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Metodologi Penyelesaian Masalah	3
BAB II METALURGI PENGELASAN	
2.1. Baja dalam Pengelasan.....	5
2.1.1. Sturktur Mikro dan Sifat Mekanik.....	5
2.1.2. Klasifikasi Baja Karbon	8
2.1.3. Baja Lunak (Mild Steel)	8
2.2. Siklus Termal Daerah Lasan	9
2.2.1. Pembekuan dan Struktur Logam Las.....	10
2.2.2. Reaksi Metalurgis Dalam Pembekuan.....	11
2.2.3. Siklus Termal Las.....	13
2.2.4. Struktur Mikro Daerah Pengaruh Panas (HAZ).....	15
2.3. Ketangguhan Daerah Lasan	18
2.3.1. Ketangguhan dan Penggetasan pada Daerah HAZ	18

2.3.2. Ketangguhan Logam Las	26
2.3.3. Penggetasan pada Daerah Las karena Pembebasan Tegangan.....	27
2.4. Retak pada Daerah Las	28
2.4.1. Jenis Retak.....	28.
2.4.2. Penyebab Retak Las dan Cara Menanggulangnya	28
2.5. Tegangan Sisa	34
2.5.1. Terjadinya Tegangan Sisa	35
2.5.2. Pengaruh Tegangan Sisa Terhadap Patah Getas	37
2.5.3. Pengukuran dan Pembebasan Tegangan Sisa	38
2.6. Pengukuran Kekuatan Sambungan Las	38
2.7. Patahnya Konstruksi Las.....	40
2.7.1. Patah Ulet.....	42
2.7.2. Patah Getas	42
2.7.3. Tahanan Patah dan Cara Menanggulangi Patah Getas	43
BAB III PELAKSANAAN DAN HASIL PENGUJIAN	
3.1. Umum.....	46
3.2. Persiapan Spesimen Uji	46
3.3. Teknik dan Prosedur Pengelasan spesimen uji.....	49
3.4. Mako Etsa.....	50
3.5. Uji Metalographi (fotomikro).....	51
3.6. Uji Kekerasan (Hardness Test).....	51
3.7. Hasil Uji Kekerasan Brinell.....	52
3.8. Pengujian Impact (Impact Test).....	53
3.8.1. Umum.....	53

3.8.2. Prosedur Pengujian Impact.....	59
3.8.3. Hasil Pengujian Impact.....	62
BAB IV. ANALISA HASIL PENGUJIAN	
4.1. Pendahuluan.....	63
4.2. Analisa Hasil Pengujian.....	63
4.2.1. Analisa Hasil Uji Kekerasan Brinell	63
4.2.2. Analisa Hasil Uji Impact.....	68
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan.....	73
5.2. Saran.....	74
Daftar Pustaka.....	75
Lampiran.....	77

DAFTAR GAMBAR

Gbr.2.1 Diagram Pendinginan Kontinu atau Diagram CCT (Baja ASTM 4340).....	6
Gbr.2.2 Struktur Mikro Dalam Baja Karbo Rendah.....	7
Gbr.2.3 Arah Pembekuan Dari Logam Las.....	11
Gbr.2.4 Lubang Halus Yang Terjadi Pada Las Sudut.....	12
Gbr.2.5 Siklus Termal Las Pada Beberapa Jarak Dari Batas Las.....	14
Gbr.2.6 Siklus Termal Dalam Busur Tangan	14
Gbr.2.7 Diagram CCT Pada Pengelasan Baja BJ 55.....	15
Gbr.2.8 Diagram CCT dan Hubungan Antara Waktu Pendinginan Dengan Kekerasan dan Struktur.....	17
Gbr.2.9 Skema Struktur Mikro Pada Daerah HAZ.....	20
Gbr.2.10 Hubungan Antara Waktu Pendinginan, Struktur Mikro dan Kekuatan Tumbuk Pada Daerah HAZ.....	23
Gbr.2.11 Perhitungan Waktu Pendinginan Dari 800° C ke 500° C Pada Pengelasan Busur Dengan Tangan.....	24
Gbr.2.12 Pengaruh Masukan Panas Pada Sifat Tumbuk.....	25
Gbr.2.13 Beberapa Contoh Retak Dingin.....	28
Gbr.2.14 Beberapa Contoh Retak Panas.....	29
Gbr.2.15 Pembentukan Tegangan Sisa.....	36
Gbr.2.16 Pengaruh Tegangan Sisa Pada Tegangan Patah Dari Pelat Uji Dengan Takikan.....	37
Gbr.2.17 Batang Uji dan Patahan Dari Uji Tumbuk Charpy.....	39

Gbr.2.18 Deformasi Slip dan Lembar yang Terjadi Dalam Kristal.....	40
Gbr.2.19 Patah Ulet dan Patah Getas.....	41
Gbr.2.20 Terjadinya Patahan Ulet.....	41
Gbr.2.21 Keadaan Transisi Pada Patahan.....	43
Gbr.2.22 Hubungan Antara Prosentase Patah Getas dan Energi yang Diserap dengan Temperatur Pengujian (Charpy Takik V).....	44
Gbr.2.23 Kurva Energi - Temperatur Beberapa Baja (Charpy Takik V-2mm).....	44
Gbr.3.1 Pembagian Material Uji Untuk Pemotongan.....	47
Gbr.3.2 Persiapan Sisi Spesimen Uji.....	47
Gbr.3.3 Pengambilan Spesimen Uji dari Material Lasan.....	48
Gbr.3.4 Penentuan Titik Uji Kekerasan.....	52
Gbr.3.5 Dimensi Spesimen Uji Impact.....	60
Gbr.4.1 Posisi dan Daerah Titik Uji Kekerasan.....	63
Gbr.4.2 Grafik Kekerasan - Daerah Posisi Spesimen a.....	64
Gbr.4.3 Grafik Kekerasan - Daerah Posisi Spesimen b.....	65
Gbr.4.4 Grafik Kekerasan - Daerah Posisi Spesimen c.....	66
Gbr.4.5 Grafik Rata-rata Kekerasan - Daerah dan Spesimen.....	67
Gbr.4.6 Grafik Kuat Impact - Spesimen	69
Gbr.4.7 Penampang Samping Spesimen Hasil Uji Impact.....	71
Gbr.4.8 Penampang Patahan Hasil Uji Impact.....	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Suhu transisi dan kriteria patahan.....	21
Tabel 3.1 Nilai uji kekerasan pada Weld Metal.....	54
Tabel 3.2 Nilai uji kekerasan pada Fusion Line.....	55
Tabel 3.3 Nilai uji kekerasan pada HAZ.....	56
Tabel 3.4 Nilai uji kekerasan pada Base Metal.....	57
Tabel 3.5 Hasil uji Impact material murni.....	62
Tabel 3.6 Hasil uji Impact dengan notch pada Weld Metal.....	62
Tabel 3.7 Hasil uji Impact dengan notch pada HAZ.....	62
Tabel 4.1 Prosentase dan sudut patahan hasil uji Impact.....	72

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Teknologi pengelasan merupakan salah satu teknik yang banyak dipergunakan dalam proses penyambungan material dan baja atau pembangunan suatu konstruksi baja. Dewasa ini dalam bidang perkapalan, khususnya untuk pembangunan kapal-kapal baja, teknologi pengelasan banyak dipakai sebagai pengganti dari teknologi keling dalam proses penyambungan pelat, profil, maupun struktur blok kapal. Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan ekonomis dan teknis, teknologi pengelasan mempunyai keuntungan yang lebih besar dibandingkan dengan teknologi pengelingan. Tetapi disamping mempunyai keuntungan yang lebih, teknologi pengelasan juga mempunyai dampak yang merugikan, terutama terhadap material baja yang telah mengalami beberapa kali proses pengelasan, seperti pada proses penggantian ataupun perbaikan kulit kapal. Konstruksi yang digunakan pada rekayasa tersebut tidak akan lepas dari pengaruh cacat atau kerusakan yang terjadi pada materialnya itu sendiri ataupun pada struktur bagian lain yang ada. Deformasi yang terjadi setelah proses pengelasan, retak las, dan cacat-cacat las yang lain, mengakibatkan berubahnya susunan metalurgi material baja dan hal tersebut akan menyebabkan berkurangnya kekuatan material. Kejadian-kejadian seperti tersebut di atas sering terjadi pada radius daerah HAZ atau pada material baja itu sendiri. Adapun penyebab terjadinya cacat pada suatu konstruksi, dapat diakibatkan oleh lima hal pokok, antara lain :

- Cacat lateral yang terjadi pada material.

- Cacat yang disebabkan oleh proses pengerjaan material.
- Pemilihan material dan perlakuan panas yang salah.
- Pemilihan teknik produksi yang salah ; dan
- Kesalahan dalam desain material.

Dengan adanya cacat-cacat tersebut, suatu konstruksi dapat mengalami kegagalan meskipun beban yang diterimanya di bawah ultimate tensile strength.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, material yang digunakan adalah plat baja SS 41, dimana plat ini banyak digunakan pada konstruksi lambung kapal, dan melihat juga kenyataan yang ada di lapangan terutama pada proses penyambungan plat maupun pada proses reparasi kapal, bahwa plat baja yang mengalami tiga kali proses pengelasan (perbaikan pekerjaan las), maka plat ini sudah tidak diijinkan lagi untuk dipergunakan dan harus diganti dengan plat yang baru, karena dianggap kekuatannya sudah rendah dan tidak layak lagi dipakai. Melihat kenyataan ini timbul pemikiran untuk melakukan penelitian guna mengetahui sampai sejauh mana plat tersebut boleh dilakukan proses pengelasan ulang.

1.2 TUJUAN PENULISAN

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh proses pengelasan ulang pada struktur mikro dari material SS 41, terutama pada daerah HAZ.
2. Menganalisa pengaruh pengelasan ulang terhadap kekerasan dan ketangguhan lasan, sehingga dapat ditentukan standard over matching material, yaitu sampai berapa kali material baja SS 41 tersebut boleh dilakukan proses pengelasan ulang.

1.3 BATASAN MASALAH

Karena kompleksnya permasalahan dan agar pembahasan tidak menyimpang dari tujuan yang sebenarnya serta untuk menyederhanakan permasalahan, maka diambil batasan-batasan sebagai berikut :

1. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dan struktur mikro sambungan las meliputi :
 - Uji impact yang dilakukan pada suhu 0°C (standard pengujian ASTM E-23)
 - Uji kekerasan Brinell (standard pengujian ASTM)
 - Uji metallography (Fotomikro)
2. Plat yang digunakan dalam pengujian ini adalah plat baja SS 41 (mild steel) produksi PT. Krakatau Steel, ketebalan 12 mm dengan tanpa perlakuan panas baik sebelum maupun setelah pengelasan.
3. Hasil pengelasan dianggap gagal sehingga harus dibongkar dan dilas ulang.
4. Yang diamati dalam penelitian ini hanyalah pengaruh dari pengelasan ulang terhadap kekerasan dan ketangguhan lasan serta perubahan struktur mikronya, sedangkan untuk pengaruh pemotongan tidak dibahas secara mendalam.

1.4 METODE PENYELESAIAN MASALAH

Metode penyelesaian yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah :

- Studi literatur, untuk mendapatkan pengaruh pengelasan terhadap perubahan struktur mikro dan hubungannya dengan sifat mekanik.
- Melalui eksperimen, untuk mengetahui kekuatan sambungan las.

- Selanjutnya dari hasil eksperimen dilakukan analisa, sehingga dapat diketahui Standard over matching material, yaitu sampai berapa kali material SS 41 tersebut boleh dilakukan proses pengelasan.

BAB II

METALURGI PENGELASAN

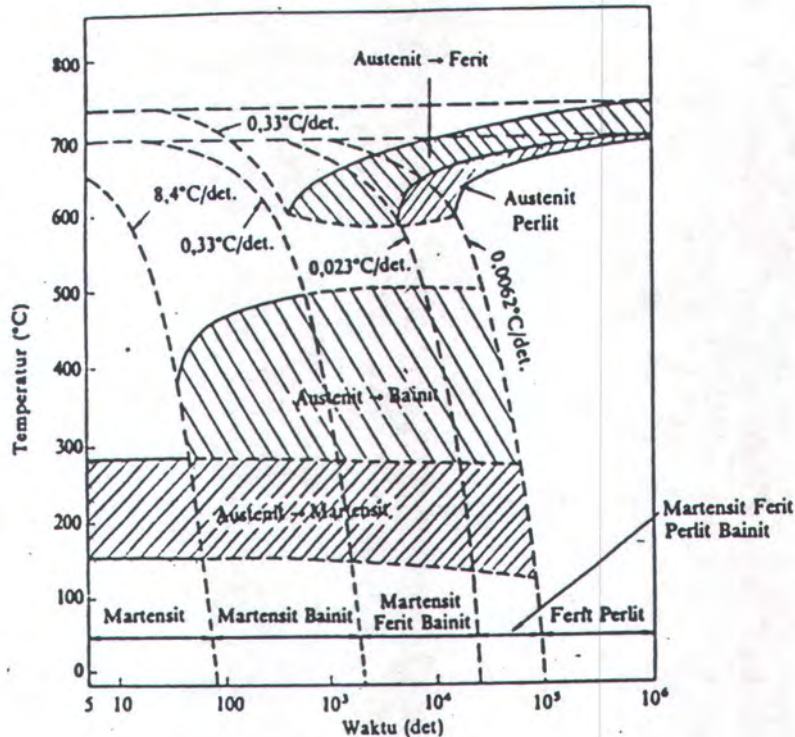
Metalurgi pengelasan merupakan suatu bidang keilmuan yang kompleks yang banyak berkaitan dengan bidang-bidang keilmuan yang lain. Metalurgi pengelasan ini meliputi fenomena-fenomena yang berhubungan dengan peleburan, siklus panas, mampu las, dan hal-hal lain yang berhubungan dengan peleburan dan perubahan-perubahan metalurgi dari logam yang dilas, baik dalam keadaan cair maupun padat. Metalurgi las, sesuai dengan namanya, dengan sendirinya akan menyangkut pengetahuan tentang metalurgi secara umum dan teknologi pengelasan merupakan bagian yang penting dalam disiplin ini. Pengetahuan tentang metalurgi pengelasan ini dimaksudkan untuk mendapatkan suatu cara dan langkah-langkah yang dapat dipakai untuk memperoleh suatu sambungan las yang memenuhi syarat. Pengetahuan mengenai metalurgi las ini merupakan suatu hal yang penting, mengingat keberhasilan dari suatu proses pengelasan sangat ditentukan oleh hal ini.

2.1. BAJA DALAM PENGELASAN

2.1.1 STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK

Pada umumnya struktur mikro dari baja tergantung dari kecepatan pendinginannya dari suhu daerah austenit sampai ke suhu kamar. Karena perubahan struktur ini maka dengan sendirinya sifat-sifat mekanik yang dimilikinya juga berubah. Hubungan antara kecepatan pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk biasanya digambarkan dalam diagram yang menghubungkan waktu, suhu dan transformasi

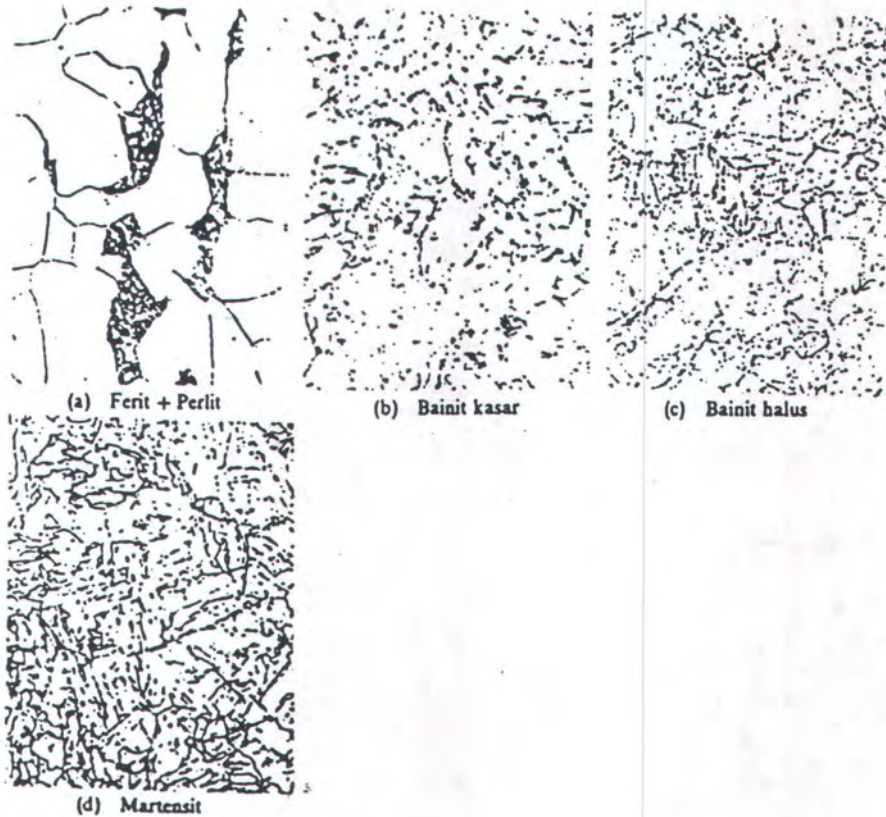
yang biasanya disebut diagram CCT (Continuous Cooling Transformation). Contoh dari diagram ini untuk baja ASTM 4340 ditunjukkan dalam Gbr.2.1.



Gbr. 2.1 Diagram pendinginan kontinu atau diagram CCT (baja ASTM 4340)

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa bila kecepatan pendinginan naik yang berarti waktu pendinginan dari suhu austenit turun, struktur akhir yang terjadi berubah dari campuran ferit-perlit ke campuran ferit-perlit-bainit-martensit, ferit-bainit-martensit, kemudian bainit-martensit dan akhirnya pada kecepatan yang tinggi sekali struktur akhirnya adalah martensit. Dalam Gbr. 2.2 ditunjukkan struktur mikro dari campuran ferit-perlit, bainit kasar yang dihasilkan pada temperatur tinggi, bainit halus yang dihasilkan pada sekitar suhu martensit atau titik M_s dan martensit sempurna. Kekuatan baja ferit-perlit sangat tergantung pada ukuran butir ferit. Disamping hubungannya

dengan kekuatan, ternyata bahwa besar butir juga mempengaruhi energi patah (uji Charpy) dan perambatan retak [ref.1].



Gbr. 2.2 Struktur mikro dalam baja karbon rendah

Penelitian-penelitian menunjukkan bahwa makin halus butir-butir kristal makin rendah suhu transisi ulet getasnya. Karena itu tindakan memperhalus butir adalah tindakan yang sangat tepat dalam usaha memperbaiki kekuatan dan ketangguhan baja ferit-perlit.

2.1.2 KLASIFIKASI BAJA KARBON

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat baja karbon sangat dipengaruhi oleh kadar karbonnya, karena itu baja ini diklasifikasikan berdasarkan kandungan karbon yang ada di dalamnya, antara lain [ref11] :

- Baja karbon rendah (Low Carbon Steel) mengandung kurang dari 0.30 % C.
- Baja karbon menengah (Medium Carbon Steel) mengandung 0.30 %-0.45 %C.
- Baja karbon tinggi (High Carbon Steel) mengandung 0.45 % - 1.7 % C.

Kenaikan kandungan karbon dalam baja, walaupun hanya sedikit saja akan mempengaruhi sifat baja, antara lain :

1. Titik leleh baja lebih tinggi dan tahan panas.
2. Baja menjadi lebih keras, sulit dimesin.
3. Kekuatan tarik bertambah dan ke-ductile-an turun.
4. Sifat mampu las baja turun.

2.1.3 BAJA LUNAK (MILD STEEL)

Baja lunak adalah termasuk baja karbon rendah dengan kandungan karbon tidak lebih dari 0.3 %. Selain itu karbon baja ini hanya mengandung unsur tambahan Mn dan Si, yang masing-masing tidak lebih dari 0.04 %.

Sifat mekanik dari baja karbon rendah ini antara lain [ref 11] :

1. Kekuatan tariknya rendah, berkisar antara 40 - 50 kg/mm² .
2. Keuletan tinggi, antara 25 - 40 %.
3. Kekerasannya antara 110 sampai 150 Brinnel.

4. Mudah dibentuk dan sifat mampu las sangat baik, tetapi tidak sepenuhnya dapat diberikan perlakuan panas.

5. Temperatur lebur antara 1460 sampai 1500 ° C.

Baja lunak ini sangat luas penggunaannya sebagai baja konstruksi, rangka bangunan, pelat lambung dan rangka kapal, dan lain sebagainya.

Sifat mampu las dari baja ini sangat dipengaruhi oleh faktor kekuatan takik dan kepekaan terhadap retak las. Kekuatan takik pada baja lunak dapat dipertinggi dengan menurunkan kadar karbon dan menaikkan kadar Mn. Suhu transisi dari kekuatan takik menjadi turun dengan naiknya harga perbandingan Mn/C. Baja lunak juga mempunyai kepekaan retak las yang rendah bila dibandingkan dengan baja karbon yang lainnya atau dengan baja karbon paduan. Tetapi retak las pada baja ini dapat terjadi dengan mudah pada pengelasan pelat tebal atau bila di dalam baja tersebut terdapat belerang bebas yang cukup tinggi. Baja lunak ini dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada didalam praktek dan hasilnya akan baik bila persiapannya sempurna dan persyaratannya dipenuhi.

2.2. SIKLUS THERMAL DAERAH LASAN

Daerah lasan terdiri dari tiga bagian, yaitu logam las, daerah pengaruh panas yang dalam bahasa Inggrisnya adalah "*Heat Affected Zone* " dan disingkat HAZ, dan logam induk yang tak terpengaruh panas. Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Daerah pengaruh panas atau daerah HAZ, adalah logam dasar yang bersebelahan dalam logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus thermal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam

induk tak terpengaruh panas adalah bagian dari logam dasar, dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Disamping ketiga pembagian utama tersebut masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dan daerah pengaruh panas, yang disebut batas las.

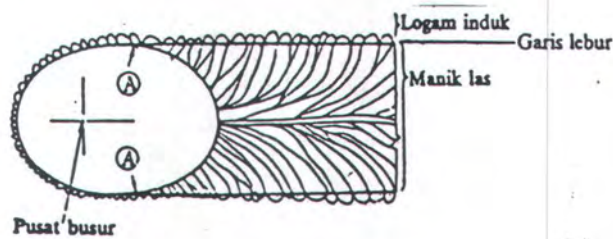
2.2.1 PEMBEKUAN DAN STRUKTUR LOGAM LAS

Dalam pengelasan cair bermacam-macam cacat terbentuk dalam logam las, misalnya pemisahan atau segregasi, lubang halus, dan retak. Banyaknya dan macamnya cacat yang terjadi tergantung dari pada kecepatan pembekuan. Semua kejadian selama proses pendinginan dalam pengelasan hampir sama dengan pendinginan dalam pengecoran. Perbedaannya adalah :

1. Kecepatan pendinginan dalam las lebih tinggi.
2. Sumber panas dalam las bergerak terus.
3. Dalam proses pengelasan, pencairan dan pembekuan terjadi secara terus menerus.
4. Pembekuan logam las mulai dari dinding logam induk yang dapat dipersamakan dengan dinding cetakan pada pengecoran, hanya saja dalam pengelasan logam las harus menjadi satu dengan logam induk, sedangkan dalam pengecoran yang terjadi harus sebaliknya.

Dalam Gbr. 2.3 ditunjukkan secara skematik proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las yang berbentuk pilar. Titik A dari gambar tersebut adalah titik mula dari struktur pilar yang selalu terletak dalam logam induk. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah yang sama dengan gerakan sumber panas. Pada garis lebur,

sebagian dari logam dasar turut mencair dan selama proses pembekuan logam las tumbuh pada butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama.



Gbr.2.3 Arah pembekuan dari logam las

2.2.2 REAKSI METALURGIS DALAM PEMBEKUAN

- **Pemisahan**

Didalam logam las terdapat tiga jenis pemisahan, yaitu pemisahan makro, pemisahan gelombang, dan pemisahan mikro. Pemisahan makro adalah perubahan komponen secara perlahan-lahan yang terjadi mulai dari sekitar garis lebur menuju ke garis sumbu las, sedangkan pemisahan gelombang adalah perubahan komponen karena pembekuan yang terputus yang terjadi pada proses terbentuknya gelombang manik las. Pemisahan mikro adalah perubahan komponen yang terjadi dalam satu pilar atau dalam bagian dari satu pilar.

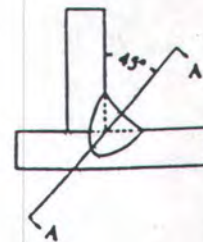
- **Lubang-lubang halus**

Lubang-lubang halus terjadi karena adanya gas yang tidak larut dalam logam padat. Sebagai contoh dapat dilihat pada Gbr.2.4, dimana lubang-lubang tersebut

disebabkan karena tiga macam cara pembentukan gas. Pertama adalah pelepasan gas karena perbedaan batas kelarutan antara logam cair dan logam padat pada suhu pembekuan, yang kedua adalah terbentuknya gas karena adanya reaksi kimia di dalam logam las dan yang ketiga adalah penyusupan gas ke dalam atmosfer busur.



Potongan A-A dari gambar (b)
(a)



(b)

Gbr.2.4 Lubang halus yang terjadi pada las sudut

Gas yang terbentuk karena perbedaan batas kelarutan dalam baja adalah gas hidrogen dan gas nitrogen, sedangkan yang terjadi karena reaksi adalah terbentuknya gas CO dalam logam cair dan yang menyusup adalah gas-gas pelindung atau udara yang terkurung dalam akar kampuh las.

- **Proses Deoksidasi**

Sebenarnya hanya sejumlah kecil oksigen yang larut dalam baja, tetapi karena tekanan disosiasi dari kebanyakan oksida sangat rendah, maka pada umumnya akan terbentuk oksida-oksida yang stabil. Karena pengukuran yang tepat untuk mengetahui jumlah oksigen yang larut dalam baja sangat sukar, maka untuk melepaskan oksigen

dari larutan biasanya dilakukan usaha-usaha seperti menghilangkan oksida. Proses menghilangkan oksida ini disebut proses deoksidasi.

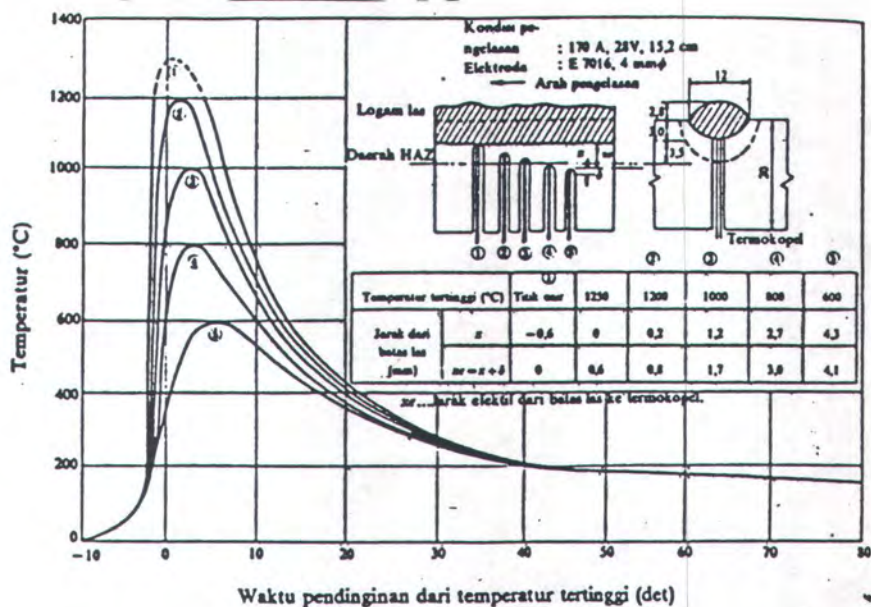
Kadar oksigen dalam baja tergantung pada kadar Si, Mn dan lain-lain. Dalam baja kil kira-kira 0.01 % dan dalam baja rim kira-kira 0.02 %. Sebaliknya kadar oksigen dalam logam las sangat tergantung dari fluks yang digunakan, misalnya pada pengelasan busur dengan fluks oksida besi atau ilmenit kadar oksigen akan mencapai antara 0.08 - 0.12 %, pada las busur rendam dengan fluks basa akan mencapai antara 0.02 - 0.04 % dan antara 0.01 - 0.02 % dalam las TIG atau las MIG.

Ketangguhan logam las turun dengan naiknya kadar oksigen, karena itu harus selalu diusahakan agar logam las mempunyai kadar oksigen yang serendah-rendahnya. Usaha penurunan oksigen ini dapat dilakukan dengan menaambah unsur-unsur yang bersifat deoksidasi seperti Si, Mn, Al, dan Ti atau menaikkan kebasaan dari terak lasnya [ref 1].

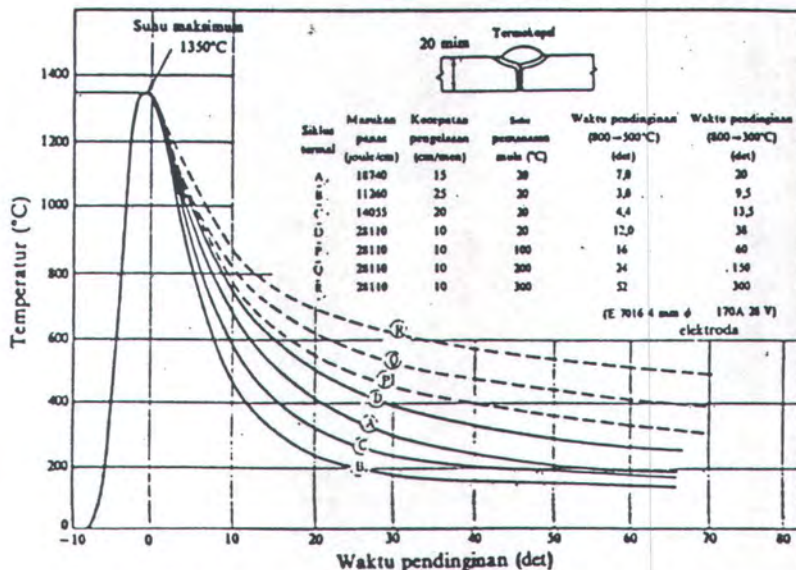
2.2.3 SIKLUS TERMAL LAS

Siklus thermal las adalah proses pemanasan dan pendinginan di daerah lasan. Sebagai contoh dalam Gbr. 2.5 dan Gbr.2.6, ditunjukkan siklus thermal daerah lasan dari las busur listrik dengan elektrode terbungkus. Dalam Gbr. 2.5, dapat dilihat siklus thermal dari beberapa tempat dalam daerah HAZ dengan kondisi pengelasan tetap, sedang Gbr.2.6 menunjukkan siklus thermal di sekitar lasan dengan kondisi pengelasan yang berbeda. Lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur tertentu dari suatu siklus thermal las, sangat mempengaruhi kualitas sambungan. Karena itu banyak sekali usaha-usaha pendekatan untuk menentukan lamanya waktu pendinginan tersebut.

Struktur mikro dan sifat mekanik dari daerah HAZ sebagian besar tergantung dari lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 500°C . Sedangkan retak dingin, dimana hidrogen memegang peranan penting, terjadinya sangat tergantung oleh lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 300°C atau 100°C .



Gbr. 2.5 Siklus termal las pada beberapa jarak dari batas las

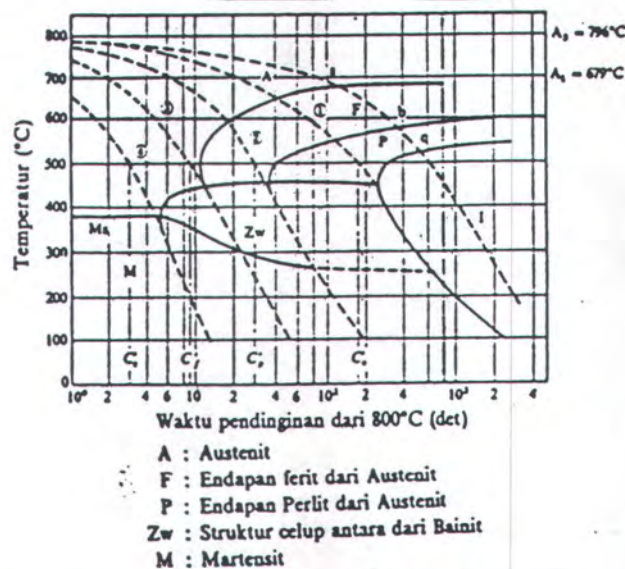


Gbr.2.6 siklus termal dalam las busur tangan

2.2.4 STRUKTUR MIKRO DAERAH PENGARUH PANAS (HAZ)

Struktur, kekerasan dan berlangsungnya transformasi dari daerah HAZ, dapat dibaca pada diagram transformasi pendinginan berlanjut atau diagram CCT. Diagram ini dapat digunakan untuk membahas pengaruh struktur terhadap retak las, keuletan, kekerasan dan lain sebagainya, kemudian dapat dipakai untuk menentukan prosedur dan cara pengelasan.

Sebagai contoh dari diagram CCT ditunjukkan dalam Gbr. 2.7. Disini ditunjukkan hubungan antara suhu mula dan suhu akhir transformasi dengan lama pendinginan 800°C (garis tebal), untuk baja kuat (55 kg/mm^2) yang dipanaskan dengan scepat ke temperatur 1300°C dan kemudian didinginkan dengan bermacam-macam kecepatan pendinginan. Garis putus-putus menunjukkan beberapa contoh siklus thermal las, yang bila digabung dengan garis tebal dari diagram CCT seperti yang ditunjukkan dalam Gbr. 2.7, dapat menunjukkan tahap-tahap transformasi selama pendinginan dan dapat dipakai untuk meramalkan struktur akhir yang akan terbentuk.



Gbr. 2.7 Diagram CCT pada pengelasan baja BJ55

Sebagai contoh misalnya Gbr. 2.7 dalam hal siklus thermal las 1, bila baja telah mendingin sampai titik a ($\pm 680^{\circ}\text{C}$) maka ferit mulai diendapkan dari austenit. Transformasi ini berjalan terus dan baru berakhir bila titik b ($\pm 590^{\circ}\text{C}$) dicapai dan kemudian diganti dengan transformasi pengendapan perlit yang akan berakhir pada titik c ($\pm 520^{\circ}\text{C}$). Dari pembahasan di atas dapat diramalkan bahwa setelah pendinginan struktur yang terbentuk adalah ferit dan perlit.

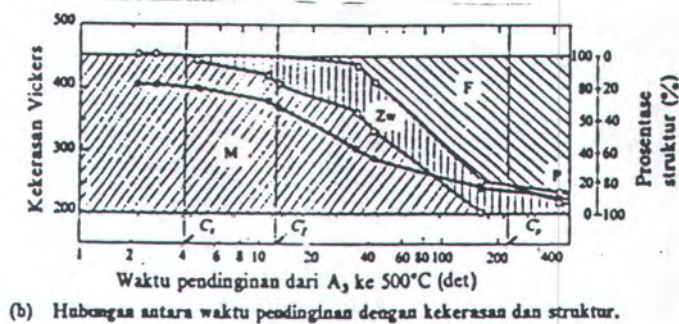
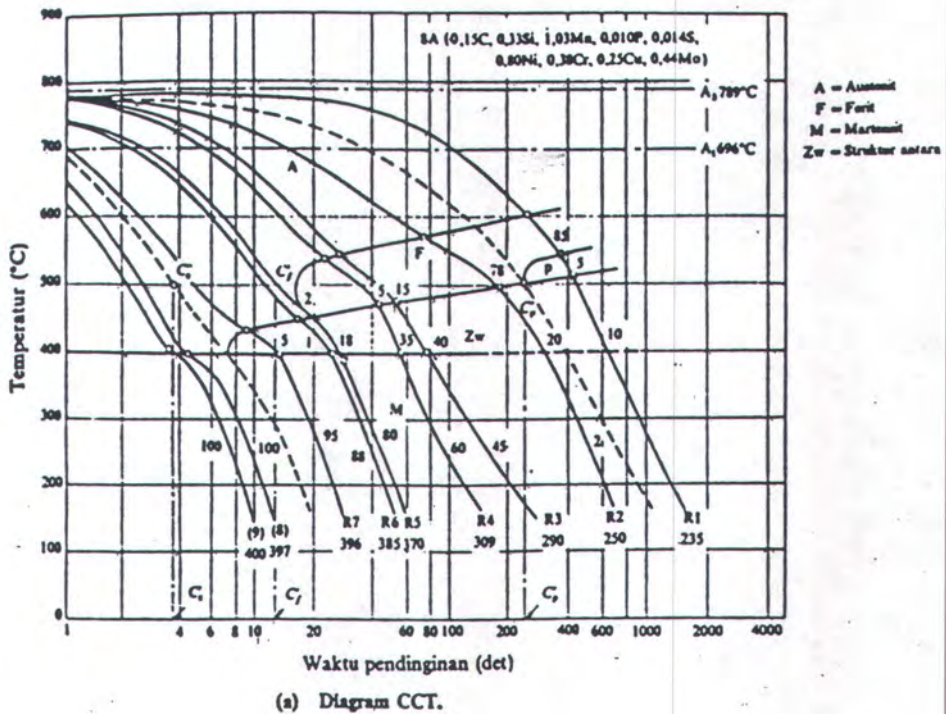
Dengan analisa yang sama, dapat diramalkan bahwa setelah pendinginan akan terbentuk struktur sebagai berikut :

1. Dengan siklus thermal las antara (1) dan (2) akan terbentuk ferit, struktur antara, dan martensit.
2. Dengan siklus thermal las antara (2) dan (3) akan terbentuk ferit, struktur antara, dan martensit.
3. Dengan siklus thermal las antara (3) dan (4) akan terbentuk struktur antara dan martensit.
4. Dengan pendinginan lebih cepat dari (4) akan terbentuk martensit.

Karakteristik dari siklus thermal las (1), (2), (3), dan (4) ini dalam bentuk lamanya waktu pendinginan dari temperatur 800°C ke 500°C masing-masing adalah 200 detik (ditunjukkan oleh C'e dalam diagram), 32 detik (C'p), 9.6 detik (C'f) dan 3 detik (C'z).

Biasanya diagram tersebut menunjukkan juga kekerasan yang akan dimiliki oleh baja setelah mendingin mengikuti siklus thermal tertentu. Karena itu dengan mengukur waktu pendinginan dari 800°C sampai 500°C dan menggabungkan dengan diagram

CCT dari diagram yang sama, maka struktur dan kekerasan baja pada daerah HAZ akan dapat ditentukan.



Gbr.2.8 Diagram CCT dan hubungan antara waktu pendinginan dengan kekerasan dan struktur

Dari diagram CCT pada Gbr. 2.8, untuk Gbr. (b) menunjukkan hubungan antara prosentase struktur dan kekerasan baja yang didapat dengan melalui beberapa macam waktu pendinginan (dari 787°C - 500°C) seperti yang ditunjukkan dalam Gbr. (a). Dengan diagram semacam ini memungkinkan untuk mengetahui kecepatan terbentuknya suatu struktur, kekerasan, dan lain sebagainya yang terjadi karena pengelasan. Diagram Transformasi pendinginan berlanjut dapat berubah karena berubahnya temperatur maksimum yang terjadi. Pada umumnya bila temperatur maksimum naik, kurva-kurva yang menunjukkan terjadinya struktur-struktur tertentu di dalam diagram bergerak ke kanan yang mengarah pada pemantapan pembentukan martensit. Bila ini terjadi jelas bahwa hasil pengelasan akan menjadi lebih keras.

2.3. KETANGGUHAN DAERAH LASAN

2.3.1 KETANGGUHAN DAN PENGGETASAN PADA DAERAH HAZ

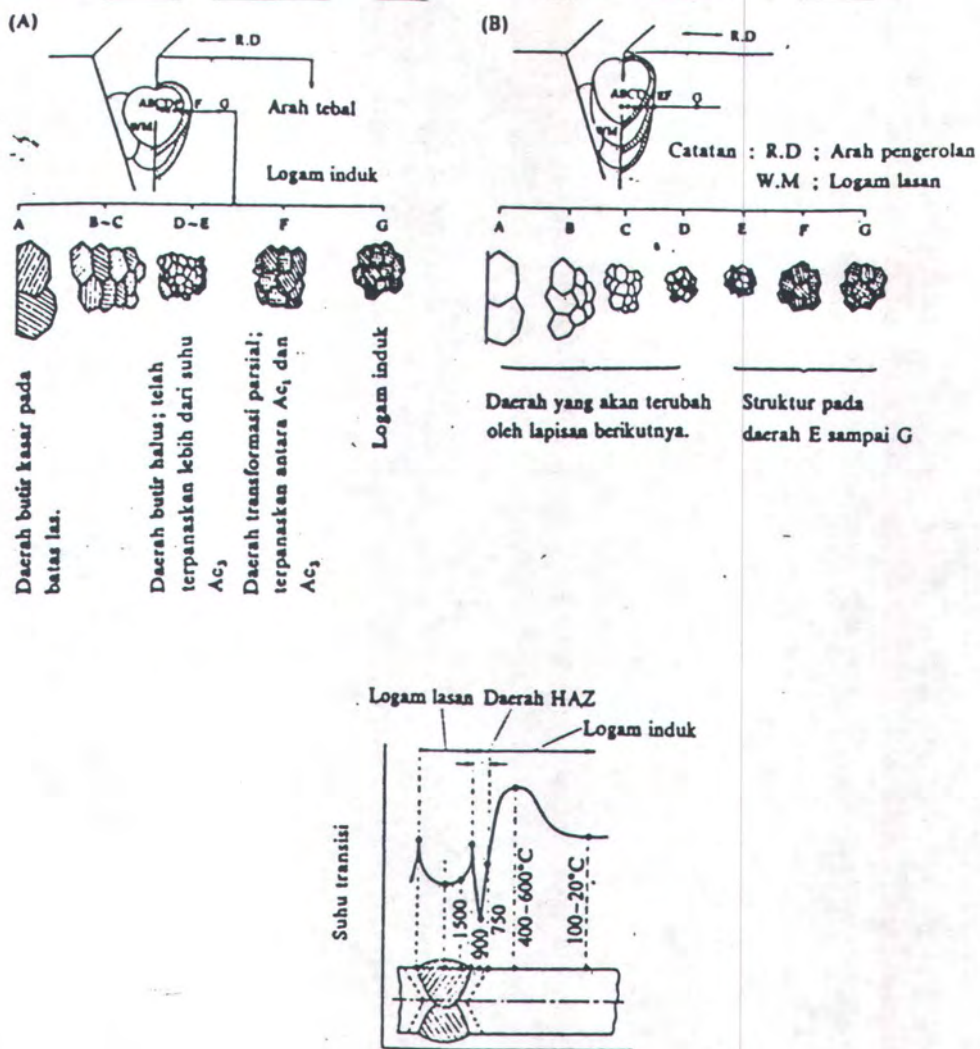
Kepekaan terhadap patah getas adalah masalah besar pada baja. Bila patah getas ini terjadi pada baja dengan daya tahan yang rendah, patahan tersebut dapat merambat dengan kecepatan sampai 2000 m/detik, yang dapat menyebabkan kerusakan dalam waktu yang sangat singkat. Dalam hal sambungan las, patah getas ini menjadi lebih penting lagi, karena adanya faktor-fakto seperti konsentrasi tegangan, struktur yang tidak sesuai, dan adanya cacat dalam lasan. Dengan demikian dalam usaha mempertinggi keamanan las, perlu adanya penilaian ketahanan daerah lasan terhadap patah getas.

(1) Pengujian Ketangguhan Dari Daerah las.

Untuk menilai ketahanan daerah las terhadap patah getas perlu adanya pengujian yang juga mempertimbangkan faktor-faktor dinamis yang dapat mempengaruhi patah getas seperti kecepatan regang, takik, tebal pelat, tegangan sisa, konsentrasi tegangan dan regangan dan lain sebagainya. Untuk menampung hal-hal dinamik ini perlu pengujian dengan skala besar, baik dalam jumlah maupun dalam dimensi. Tetapi dipandang dari sudut ekonomi hal ini tidak mungkin dilakukan, karena itu dibuat pengujian skala kecil yang distandarkan yang disebut pengujian takik. Temperatur transisi dan kriteria pengujian takik ditunjukkan dalam tabel 2.1. Uji tumbuk Charpy dengan takik V-2 mm merupakan yang paling umum digunakan untuk menentukan kekuatan takik skala kecil. Ketangguhan dari daerah las biasanya dinyatakan dengan energi yang diserap dan temperatur transisi patah. Uji kekuatan takik semacam ini banyak digunakan untuk menilai ketahanan terhadap patah getas dari pelat baja, logam las, dan logam pada daerah panas.

(2) Ketangguhan Dan Penggetasan Batas Las.

Struktur logam pada daerah pengaruh panas (HAZ) berubah secara berangsur dari struktur logam induk ke struktur logam las, seperti yang terlihat dalam Gbr. 2.9. Pada daerah HAZ yang dekat dengan garis lebur, kristalnya tumbuh dengan cepat dan membentuk butir-butir kasar. Daerah ini dinamakan daerah batas las.



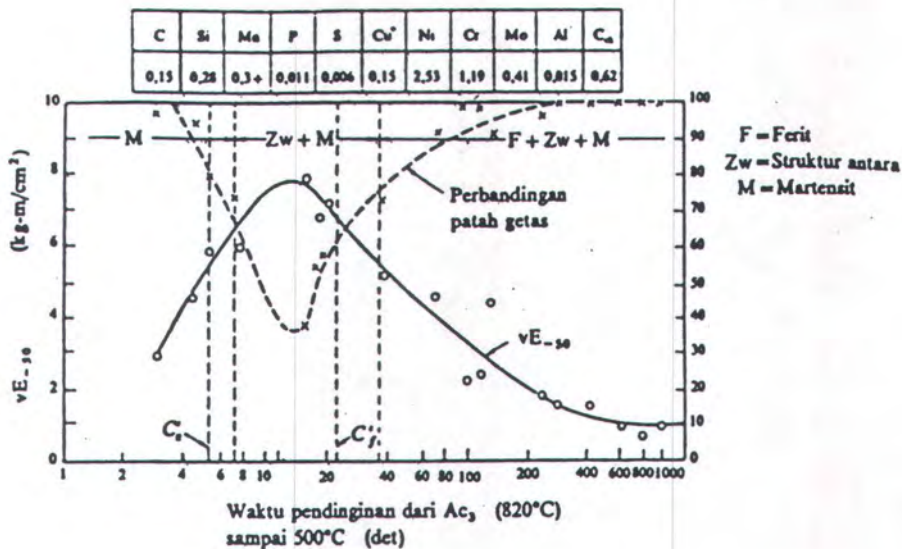
Gbr. 2.9 Skema struktur mikro pada daerah HAZ

Di dalam daerah pengaruh panas, besar butir dan struktur berubah sesuai dengan siklus thermal yang terjadi pada waktu pengelasan.

Tabel 2.1 Suhu transisi dan Kriteria Patahan

Perkiraan suhu transisi patahan getas	Berdasarkan energi yang diserap	<ul style="list-style-type: none"> Suhu dimana energi yang diserap sampai patah atau energi yang diserap setelah beban maksimum terlampaui mencapai 1/2 dari energi maksimum yang mungkin terserap atau sama dengan harga rata-rata dari energi terserap yang maksimum dan minimum. Suhu dimana terjadi gradien energi yang tertinggi. 	
	berdasarkan penampakan patahan	<ul style="list-style-type: none"> Suhu dimana luas patahan butir atau patahan getas mencapai 1/2 dari penampang semula. Suhu dimana ujung patahan serat atau patahan ulet mencapai 1/2 dari seluruh permukaan patah. 	
Perkiraan suhu transisi patahan ulet	Berdasarkan energi yang diserap	<ul style="list-style-type: none"> Suhu dimana energi yang diserap sebelum beban maksimum terlampaui mencapai 1/2 dari energi maksimum yang mungkin terserap atau sama dengan harga rata-rata dari energi terserap yang maksimum dan yang minimum. Suhu dimana terjadi gradien energi yang tertinggi. Suhu dimana energi yang terserap mencapai harga tertentu. 	
	Berdasarkan ketangguhan	<ul style="list-style-type: none"> Suhu dimana sudut tekuk pada beban maksimum turun dengan mendadak. Suhu dimana laju kontraksi patahan pada dasar kaki menurun atau mencapai harga prosentase tertentu. 	
	Berdasarkan kekuatan	<ul style="list-style-type: none"> Suhu dimana kekuatan luluh sama dengan kekuatan tertinggi. 	
	Berdasarkan penampakan patahan	<ul style="list-style-type: none"> Suhu dimana patahan serat atau patahan ulet mulai terjadi atau mencapai suatu prosentase tertentu (rendah) terhadap seluruh luas permukaan patahan. 	

rendah. Perubahan struktur di atas disebabkan oleh perbedaan komposisi kimia dan perbedaan kecepatan pendinginan karena panas pengelasan, pemanasan mula, tebal pelat dan lain sebagainya. Semua faktor tersebut merubah besarnya penggetasan batas las secara rumit sekali.



Gbr. 2.10 Hubungan antara waktu pendinginan, struktur mikro, dan kekuatan tumbuk pada daerah HAZ

Dengan memilih cara pengelasan serta meramalkan hubungan antara syarat pengelasan dan kecepatan pendinginan dari batas las nomograf untuk menentukan waktu pendinginan seperti yang terlihat dalam Gbr. 2.11 akan sangat membantu. Dengan diagram CCT dan nomograf penaksiran waktu pendinginan, dapat diduga struktur yang akan terjadi pada batas las dan kondisi pengelasan yang diperlukan untuk memperkecil penggetasan batas las.

Karena siklus thermal yang terjadi sangat rumit maka dengan sendirinya perubahan ketangguhannya pun sangat rumit. Pada daerah batas las, dimana butir-butirnya sangat kasar sehingga logam menjadi sangat getas dan disebut penggetasan batas las. Pada batas las ini terjadi konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh diskontinuitas pada kaki manik las, takik las, retak las, dan lain sebagainya. Kegetasan dari batas las ini disamping disebabkan oleh butir-butir kasar, mungkin juga karena cacat-cacat las atau titik-titik pusat konsentrasi tegangan yang ada di dalamnya. Berhubung dengan hal tersebut, maka pengurangan peregangan pada batas las merupakan usaha yang sangat penting dalam menjamin ketangguhan sambungan las.

Seperti dalam pembahasan sub-sub bab 2.2, ketangguhan yang terjadi bergantung pada suhu pemanasan maksimum dan kecepatan pendinginan dari 800°C sampai 500°C . Berdasarkan kecepatan pendinginan, perubahan struktur yang terjadi sebagai berikut :

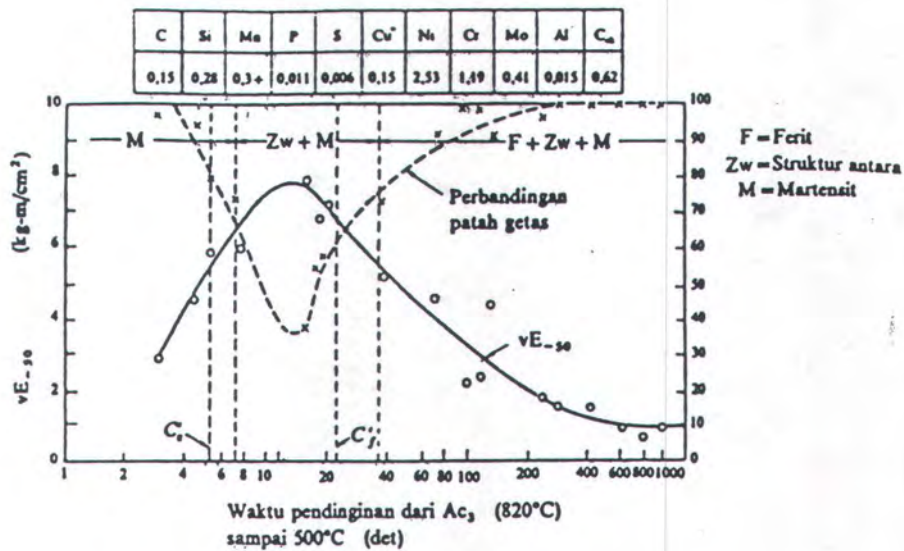
Martensit (M) \Rightarrow bainit bawah \Rightarrow bainit atas \Rightarrow ferit (F) + perlit (P)

Bila didingin-cepatkan atau dicelup bainit bawah dan bainit atas akan membentuk struktur antara (Zw), sehingga perubahan struktur di atas dapat ditulis sebagai berikut :

$$M \Longrightarrow (Zw) \Longrightarrow (F + P)$$

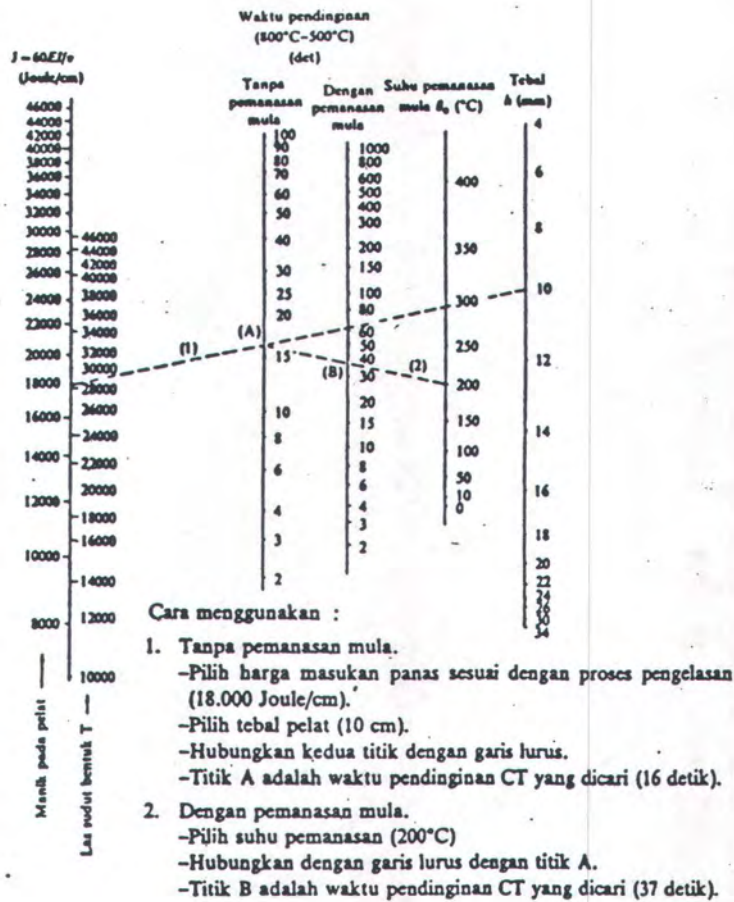
Dalam Gbr. 2.10 ditunjukkan suatu contoh dari perubahan struktur dan harga uji Charpy yang dihubungkan dengan kecepatan pendinginan pada daerah las. Ketangguhan yang paling baik didapat bila terbentuk struktur ganda dari martensit dan bainit bawah. Sedangkan bila terjadi bainit atas dan ferit kasar, ketangguhan baja menjadi sangat

rendah. Perubahan struktur di atas disebabkan oleh perbedaan komposisi kimia dan perbedaan kecepatan pendinginan karena panas pengelasan, pemanasan mula, tebal pelat dan lain sebagainya. Semua faktor tersebut merubah besarnya penggetasan batas las secara rumit sekali.



Gbr. 2.10 Hubungan antara waktu pendinginan, struktur mikro, dan kekuatan tumbuk pada daerah HAZ

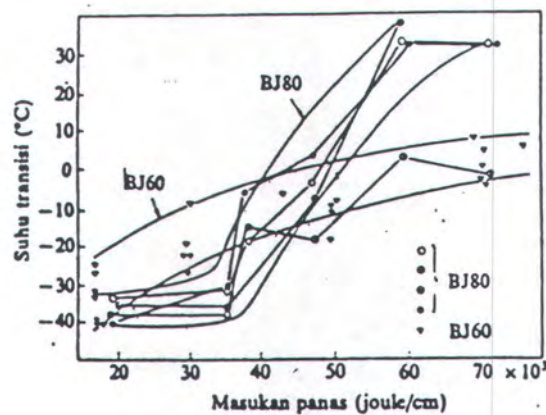
Dengan memilih cara pengelasan serta meramalkan hubungan antara syarat pengelasan dan kecepatan pendinginan dari batas las nomograf untuk menentukan waktu pendinginan seperti yang terlihat dalam Gbr. 2.11 akan sangat membantu. Dengan diagram CCT dan nomograf penaksiran waktu pendinginan, dapat diduga struktur yang akan terjadi pada batas las dan kondisi pengelasan yang diperlukan untuk memperkecil penggetasan batas las.



Gbr.2.11 Perhitungan waktu pendinginan dari 800°C ke 500°C pada pengelasan busur dengan tangan

(3) Pengaruh Masukan Panas Las Terhadap Penggetasan Batas Las.

Penggetasan batas las disebabkan oleh tumbuhnya kristal menjadi butir-butir kasar atau karena terbentuknya struktur Bainit atas. Sebagai contoh dalam Gbr.2.12 ditunjukkan hubungan antara ketangguhan batas las dan masukan panas pada material baja.



Gbr.2.12 Pengaruh masukan panas pada sifat tumbuk

(4) Cara-cara Untuk Menurunkan Penggetasan Batas Las.

Penggetasan batas las pada umumnya dapat diturunkan dengan memperbaiki struktur daerah batas. Cara-cara yang dapat digunakan untuk keperluan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Penggunaan baja yang kurang peka terhadap penggetasan batas las ; Cara yang banyak digunakan adalah mengurangi kadar paduan dan karbon dalam baja dan mempertinggi kadar nikel. Penurunan kadar unsur paduan dan karbon tidak hanya efektif untuk mengurangi penggetasan batas las, tetapi juga sangat baik untuk menghindari terjadinya retak las.
2. Pembatasan masukan panas ; Pembatasan masukan panas digunakan juga sebagai suatu cara untuk mengurangi penggetasan batas las. Dengan masukan panas yang rendah ini dapat dicapai temperatur transisi uji takik Charpy dari batas las di

bawah 0°C . Dalam hal ini jelas bahwa pemanasan mula yang berlebihan dengan tujuan untuk memperlambat pendinginan tidak dikehendaki karena hal ini akan menambah besarnya masukan panas. Karena itu pemanasan mula harus diusahakan serendah mungkin asal cukup untuk menghindari terjadinya retak las.

3. Penurunan penggetasan melalui cara pengelasan ; Cara lain untuk menurunkan penggetasan batas las adalah memperbaiki struktur mikro yang terjadi dengan cara pemanasan kembali melalui panas las. Jadi dalam pengelasan lapis banyak sebenarnya secara tidak langsung telah dilakukan usaha penurunan penggetasan.

2.3.2 KETANGGUHAN LOGAM LAS

Logam las adalah logam yang dalam proses pengelasan mencair dan kemudian membeku, sehingga logam las ini banyak sekali mengandung oksigen dan gas-gas lain. Komposisi logam las sangat tergantung pada proses pengelasan yang digunakan, tetapi dapat diperkirakan bahwa komposisinya akan terdiri dari komponen logam induk dan komponen bahan las yang digunakan. Karena itu dalam menganalisa ketangguhan logam las harus diperhatikan pengaruh unsur lain yang terserap selama proses pengelasan, terutama oksigen dan pengaruh dari strukturnya sendiri.

(1) Pengaruh Oksigen.

Pada waktu logam las masih cair, oksidasi dihalangi oleh terak dan gas pelindung yang terbentuk oleh bahan pembungkus elektroda. Tetapi walaupun demikian penyerapan oksigen oleh logam cair tidak dapat dihalangi sepenuhnya, sehingga logam

las lebih banyak mengandung oksigen bila dibanding dengan logam induk, sehingga terjadi perbedaan keuletan antara keduanya. Pada umumnya oksigen akan membentuk butiran oksida dalam logam las dan menurunkan kekuatan tumbuk Charpy. Sama halnya seperti oksigen, nitrogen diperkirakan juga banyak terserap ke dalam logam las dan inipun menyebabkan berkurangnya ketangguhan.

(2) Pengaruh Struktur.

Pengaruh struktur logam las terhadap ketangguhan pada dasarnya sama saja seperti pada batas las. Tetapi karena logam las dalam proses pengelasan ini mencair dan kemudian membeku, maka kemungkinan besar terjadi pemisahan komponen yang menyebabkan terjadinya struktur yang tidak homogen. Jadi jelas bahwa disamping terjadinya pemisahan, pengaruh struktur terhadap ketangguhan logam las sama saja seperti pengaruh struktur terhadap batas las yaitu struktur bainit atas dan ferit kasar menurunkan ketangguhan dan struktur bainit bawah mempertinggi ketangguhan.

2.3.3 PENGGETASAN PADA DAERAH LAS KARENA PEMBEBASAN TEGANGAN

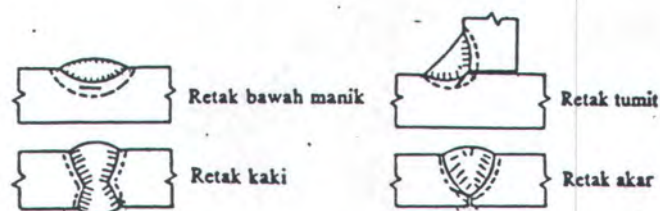
Pengelasan pada pelat-pelat tebal, pada umumnya diikuti dengan pemanasan mendekati suhu rekristalisasi yang bertujuan menghilangkan tegangan sisa yang terjadi karena pengelasan, menurunkan kekerasan dari daerah las dan memperbaiki sifat-sifat lainnya. Perlakuan seperti ini disebut pembebasan tegangan. Proses pembebasan tegangan ini dapat menurunkan ketangguhan sambungan las dan peristiwa ini disebut

penggetasan bebas tegang. Proses pembebasan tegangan ini sebenarnya adalah proses penemperan baja yang menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan pengendapan karbida. Karena pendinginan lambat yang dilakukan di dalam tungku maka terjadi pengasaran butir dan getas temper yang menurunkan ketangguhan.

2.4. RETAK PADA DAERAH LAS

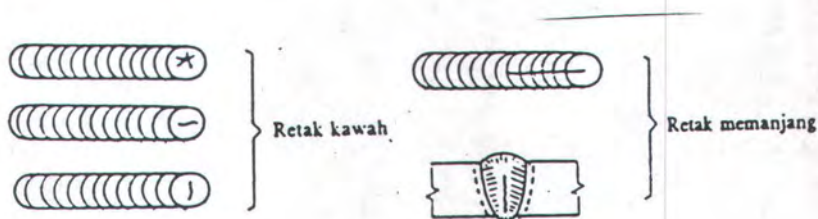
2.4.1 JENIS RETAK LAS

Retak las dapat dibagi dalam dua kelompok yaitu retak dingin dan kelompok retak panas. Retak dingin adalah retak yang terjadi di daerah las pada suhu di bawah suhu transformasi martensit yang tingginya kira-kira 300°C , sedangkan retak panas adalah retak yang terjadi pada suhu diatas 550°C . Retak dingin dapat terjadi tidak hanya pada daerah HAZ, tetapi juga pada logam las. Retak dingin pada daerah HAZ dapat dilihat dalam Gbr.2.13. Retak dingin utama pada daerah ini adalah retak bawah manik, retak akar, dan retak kaki. Sedangkan retak pada logam las biasanya adalah retak memanjang dan melintang.



Gbr. 2.13 Beberapa contoh retak dingin

Retak panas dibagi dalam dua kelas yaitu retak karena pembebasan tegangan pada daerah HAZ yang terjadi pada suhu antara 550°C - 700°C dan retak yang terjadi pada suhu diatas 900°C yang terjadi pada peristiwa pembekuan logam las. Retak panas yang sering terjadi pada logam las karena pembekuan, biasanya berbentuk retak kawah, dan retak memanjang seperti yang ditunjukkan dalam Gbr.2.14. Sedang retak panas karena pembebasan tegangan pada umumnya terjadi pada daerah kaki dalam daerah HAZ.



Gbr. 2.14 Beberapa contoh retak panas

2.4.2 PENYEBAB RETAK LAS DAN CARA MENANGGULANGINYA

(1) Retak dingin di daerah HAZ.

Retak dingin di daerah HAZ biasanya terjadi antara beberapa menit sampai 48 jam sesudah pengelasan. Karena itu retak ini disebut juga retak lambat. Retak dingin ini disebabkan oleh tiga hal berikut :

1. Struktur daerah HAZ

Struktur daerah HAZ ditentukan oleh komposisi kimia logam induk dan kecepatan pendinginan dari daerah las. Retak dingin di daerah HAZ dalam pengelasan baja,

biasanya terjadi pada daerah martensit. Karena itu kadar dari unsur paduan yang mempertinggi sifat mampu keras baja diusahakan serendah mungkin. Pengaruh unsur paduan terhadap kepekaan retak dingin daerah HAZ biasanya dapat dilihat dari harga ekivalen karbon dari unsur-unsur yang dikandung (Cek) dan harga parameter retak (P_{cm}) seperti yang dirumuskan dalam persamaan berikut :

Harga Cek menurut JIS dan WES adalah :

$$\text{Cek} = C + \text{Mn}/6 + \text{Si}/24 + \text{Ni}/40 + \text{Cr}/5 + \text{Mo}/4 + \text{V}/14 \quad [\%]$$

Harga parameter retak P_{cm} adalah :

$$P_{cm} = C + \text{Si}/30 + \text{Mn}/20 + \text{Ni}/60 + \text{Cr}/20 + \text{Mo}/15 + \text{V}/10 + 5B \quad [\%]$$

Dalam hal ini bila nilai dari Cek dan P_{cm} turun, maka kepekaan terhadap retak dingin dari daerah pengaruh panas juga turun. Kekuatan baja yang turun karena turunnya Cek dan P_{cm} dapat diperbaiki dengan mengatur jenis dan banyaknya unsur yang dicampurkan dan perlakuan panas pada waktu pembuatan baja.

2. Hidrogen difusi dalam daerah las

Retak las juga dipengaruhi oleh adanya difusi hidrogen dari logam las ke dalam daerah HAZ. Pada waktu logam las masih mencair, logam ini menyerap hidrogen dengan jumlah besar yang dilepaskan dengan cara difusi pada suhu rendah, karena pada suhu tersebut kelarutan hidrogen menurun. Hidrogen yang didifusikan ini menyebabkan retak di daerah HAZ. Sumber dari hidrogen yang diserap adalah air dan zat organik yang dikandung di dalam fluks atau kelembaman udara atmosfer.

Disamping itu minyak, zat organik dan air yang melekat pada rongga-rongga dan permukaan pelat atau kawah las juga merupakan sumber hidrogen. Usaha untuk menghindari retak las dapat dilakukan dengan menghilangkan sumber hidrogen dan melepaskan hidrogen yang telah diserap. Untuk hal ini dilakukan penurunan kecepatan pendinginan dengan memberikan pemanasan mula pada temperatur antara 50 sampai 200°C atau memberikan pemanasan kemudian pada temperatur antara 200°C sampai 300°C.

3. Tegangan

Tegangan yang dapat mempengaruhi terjadinya retak las adalah tegangan sisa dan tegangan thermal. Tegangan sisa banyak sekali tergantung pada rancangan las, proses pengelasan yang digunakan dan pengawasannya. Kenaikan dari tebal pelat akan mempertinggi besarnya tegangan sisa dan akan menyebabkan terjadinya retak las. Selanjutnya pembahasan mengenai tegangan sisa lebih detail akan dibahas dalam sub bab yang terpisah. Sebab utama dari terjadinya retak las seperti diterangkan di atas adalah terbentuknya struktur martensit pada daerah HAZ, terjadinya hidrogen difusi pada logam las dan besarnya tegangan yang bekerja pada daerah las. Karena itu dalam menghindari terjadinya retak las pada daerah pengaruh panas, maka faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya hal-hal di atas harus diusahakan serendah-rendahnya. Usaha-usaha penanggulangan retak dingin di HAZ dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Se jauh mungkin menggunakan baja dengan harga C_k dan P_{cm} rendah, sehingga terbentuknya struktur martensit pada daerah HAZ dapat dihindari.

- Sedapat mungkin menggunakan elektroda dengan fluks yang mempunyai kadar hidrogen yang rendah.
- Elektroda yang akan digunakan harus dipanggang lebih dahulu dan penyimpanannya harus sedemikian rupa sehingga elektroda yang sudah dipanggang tidak menyerap air.
- Sebelum mengelas pada daerah sekitar kampuh harus dibersihkan dari air, karat, debu, minyak dan zat organik yang dapat menjadi sumber hidrogen.
- Penggunaan CO₂ sebagai gas pelindung akan sangat mengurangi terjadinya difusi hidrogen.
- Untuk melepaskan kadar difusi hidrogen dapat digunakan las dengan masukan panas tinggi atau dilakukan pemanasan mula dan penahanan suhu lapisan las yang dapat memperlambat pendinginan.
- Tegangan yang terjadi pada daerah las harus diusahakan serendah mungkin dengan pemilihan dan pengawasan rancangan dan cara pengelasan yang tepat.

(2). Retak panas

Retak panas biasanya terjadi pada waktu logam las mendingin setelah pembekuan selesai. Retak ini terjadi karena adanya tegangan yang timbul yang disebabkan oleh penyusutan dan sifat baja yang ketangguhannya turun pada suhu sedikit dibawah suhu pembekuan. Dengan demikian maka retak ini akan terjadi pada batas butir, karena pada tempat tersebut biasanya terbentuk senyawa dengan titik cair rendah.

Karena itu unsur seperti Si, Ni, S dan P akan mempertinggi kepekaan baja terhadap terhadap retak jenis ini. Usaha menghindari retak panas adalah menurunkan kadar Si dan Ni serendah mungkin dan menghilangkan kandungan S dan P sejauh mungkin.

(3). Retak lamel

Pada konstruksi kerangka yang besar seperti bangunan laut, biasanya digunakan pelat tebal, sehingga pada daerah las terjadi tegangan yang besar pula. Karena kadang-kadang terjadi retak berumpak yang menjalar sepanjang butiran bukan logam yang ada di dalam baja, maka retak semacam ini disebut retak lamel. Butiran-butiran dengan bentuk kubus, seperti MnS atau Mn Si O₃ biasanya lebih peka terhadap retak lamel dari pada butiran berbentuk bulat. Karena itu pada baja tahan retak, biasanya kadar belerang diusahakan serendah-rendahnya. Penambahan unsur Ce atau Ca pada baja dapat membentuk butiran bukan logam yang berbentuk bulat, sehingga pengurangan kepekaan baja terhadap retak lamel disamping pengurangan kadar S, dapat juga dilakukan dengan penambahan Ce dan Ca. Disamping sifatnya yang khusus, retak lamel juga mempunyai sifat seperti retak las pada umumnya. Karena itu retak lamel disamping sangat dipengaruhi oleh bentuk butir bukan logam, juga dipengaruhi oleh harga C_{ek} atau P_{cm} , kadar hidrogen difusi dan tegangan sisa.

(4) Retak lintang pada logam las

Retak dingin disamping terjadi pada daerah HAZ juga dapat terjadi pada logam las. Retak ini biasanya terjadi dengan arah tegak lurus atau melintang terhadap garis las dan disebut retak lintang. Retak lintang dapat terjadi pada pengelasan SMAW yang menggunakan logam las dengan kekuatan lebih dari 75 kg/mm². Retak lintang

sama halnya dengan retak dingin, terjadinya karena adanya hidrogen difusi yang keluar dari fluks atau pembungkus elektroda. Pada permukaan manik las, hidrogen difusi yang dikandung dapat dilepaskan dengan mudah bila dibandingkan dengan hidrogen yang ada di bagian dalam. Karena itu retak lintang biasanya terdapat pada tengah-tengah tebal lasan tanpa menembus permukaan. Dengan demikian jelas bahwa cara menghindari retak lintang adalah menurunkan kadar hidrogen difusi. Disamping pengeringan dan penyimpanan yang baik dari bahan-bahan las terhadap uap air, pemanasan mula dan pemanasan kemudian juga sangat membantu dalam melepaskan hidrogen difusi.

(5) Retak pada daerah las karena proses pembebasan tegangan

Retak yang terjadi karena perlakuan-perlakuan panas sesudah pengelasan adalah retak karena proses anil pembebasan tegangan. Tempat terjadinya retak anil ini adalah pada batas-batas butir, terutama butir kasar pada daerah pengaruh panas. Retak ini biasanya terjadi karena adanya konsentrasi tegangan seperti pada daerah kaki lasan, sehingga daerah ini harus diselesaikan sehaalus mungkin sehingga tidak ada takikan. Disamping itu juga harus dihindari adanya garis las yang menyilang atau terlalu dekat satu sama lain.

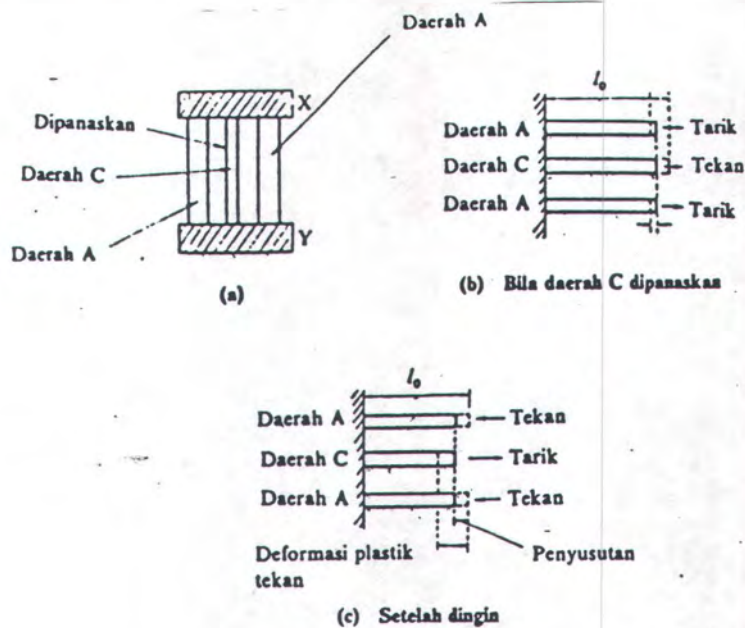
2.5. TEGANGAN SISA

Dalam proses pengelasan, bagian yang dilas menerima panas pengelasan setempat dan selama proses berjalan suhunya berubah terus sehingga distribusi suhu

tidak merata. Karena panas tersebut, maka pada bagian yang dilas terjadi pengembangan thermal. Sedangkan bagian yang dingin tidak berubah sehingga terbentuk penghalangan pengembangan yang mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk tetap yang disebabkan karena adanya perubahan besaran mekanik. Disamping terjadi perubahan bentuk, yang dengan sendirinya terjadi regangan, maka terjadi juga tegangan yang sifatnya tetap, yang disebut tegangan sisa. Tegangan sisa yang terjadi karena pengelasan ini dapat dibagi dalam dua kelompok, yaitu : pertama, tegangan sisa oleh adanya halangan dalam yang terjadi karena pemanasan dan pendinginan setempat pada bagian konstruksi yang bebas, dan kedua, tegangan sisa oleh adanya halangan luar yang terjadi karena perubahan bentuk dan penyusutan dari konstruksi. Tegangan sisa dan perubahan bentuk yang terjadi sangat mempengaruhi sifat dan kekuatan dari sambungan, karena itu usaha untuk mengatur dan mengurangi tegangan sisa dan perubahan bentuk perlu dilakukan.

2.5.1 TERJADINYA TEGANGAN SISA

Terjadinya tegangan sisa ini dapat dilihat dalam Gbr.2.15, dimana daerah C mengembang pada waktu pengelasan. Pengembangan pada C ditahan oleh daerah A, sehingga pada daerah C terjadi tegangan tekan dan pada daerah A terjadi tegangan tarik.



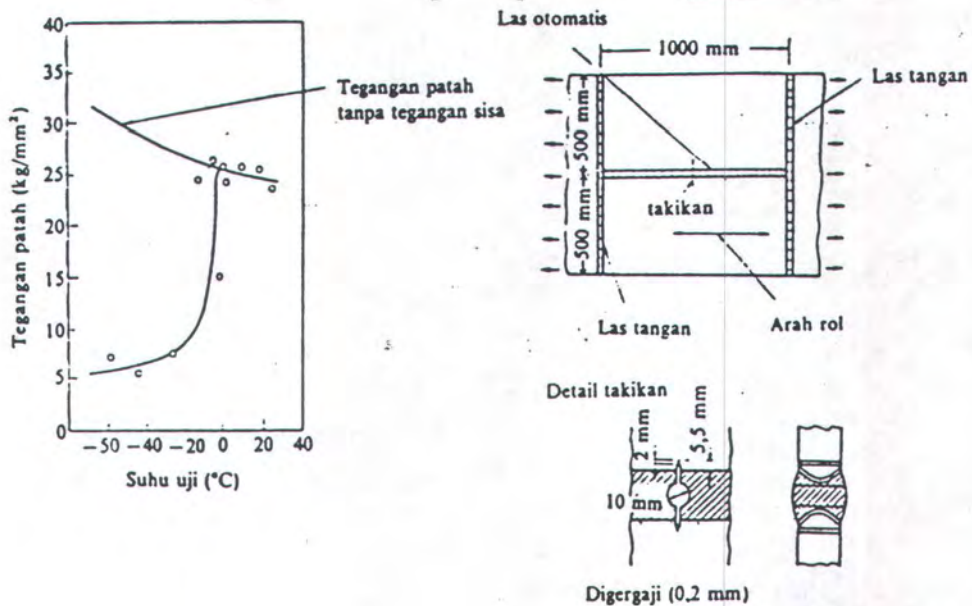
2.15 Pembentukan tegangan sisa

Pada waktu pengelasan selesai, terjadilah proses pendinginan dimana bagian C menyusut cukup besar, disamping karena pendinginan juga karena adanya tegangan tekan. Penyusutan ini ditahan oleh daerah A, karena itu pada daerah C akan terjadi tegangan tarik yang diimbangi oleh tegangan tekan pada daerah A.

Hal-hal yang berpengaruh dalam pembentukan tegangan sisa adalah batas transformasi dan batas luluh bahan, suhu pemanasan yang tertinggi, kecepatan pendinginan, tahanan luar dan pemanasan mula. Faktor-faktor ini sangat berkaitan satu dengan yang lain, karena itu dalam mengatur dan mengawasi terjadinya tegangan sisa semuanya harus diperhatikan.

2.5.2 PENGARUH TEGANGAN SISA TERHADAP PATAH GETAS

Tegangan sisa berpengaruh jelek terhadap patah getas dari sambungan las. Hal ini dapat ditunjukkan dengan menarik batang uji bertakik ke arah lasan pada beberapa suhu yang berlainan. Hubungan antara suhu dan tegangan patah getas ditunjukkan dalam Gbr.2.16. Bila dalam sambungan tidak ada tegangan sisa maka tegangan patah getas akan naik dengan diturunkannya suhu pengujian. Tetapi bila terdapat tegangan sisa, tegangan patah getasnya menurun dengan cepat pada suatu suhu tertentu.



Gbr. 2.16 Pengaruh tegangan sisa pada tegangan patah dari pelat uji dengan takikan

2.5.3 PENGURANGAN DAN PEMBEBASAN TEGANGAN SISA

Dalam pengelasan, tegangan sisa terjadi karena adanya penyusutan pada waktu pendinginan setelah pengelasan. Besarnya tegangan sisa yang terjadi dapat dikurangi dengan mengurangi besarnya masukan panas dan banyaknya logam lasan yang dilaksanakan dengan memperkecil sudut alur kampuh las dan memperkecil celah akar pada las tumpul. Dalam hal las sudut dapat dilakukan dengan memperkecil panjang kaki las dan penguat. Karena penghalang luar juga menyebabkan terjadinya tegangan sisa, maka perlu dihindari terjadinya dengan menentukan urutan pengelasan yang baik.

Terdapat dua cara untuk membebaskan tegangan sisa, yaitu cara mekanik dan cara thermal.. Dari kedua cara pengurangan tegangan sisa di atas, yang paling banyak digunakan adalah cara thermal dengan proses anil.

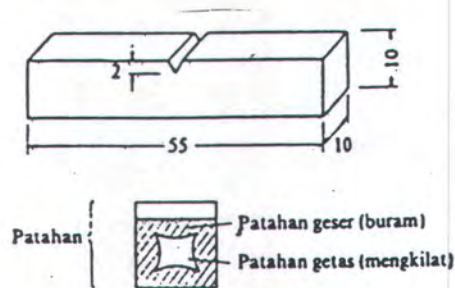
2.6. PENGUKURAN KEKUATAN SAMBUNGAN LAS

- Kekuatan tarik

Sifat tarikan yang dimaksudkan disini adalah sifat-sifat yang berhubungan dengan pengujian tarik. Dalam sambungan las, sifat tarik sangat dipengaruhi oleh sifat dari logam induk, daerah HAZ, sifat logam las dan sifat-sifat dinamik sambungan yang berhubungan erat dengan geometri dan distribusi tegangan dalam sambungan.

- Kekuatan tumbuk

Kekuatan tumbuk dari suatu bahan adalah kemampuan bahan dalam menerima beban tumbuk yang diukur dengan besarnya energi yang diperlukan untuk mematahkan batang uji dengan palu ayun, seperti yang terlihat pada Gbr.2.17.



Gbr. 2.17 Batang uji dan patahan dari uji tumbuk Charpy

Jadi jelas disini bahwa kekuatan tumbuk adalah sifat logam yang sama dengan ketangguhan. Sifat ini perlu diperhatikan karena logam dengan kekuatan tarik yang sama belum tentu mempunyai kekuatan tumbuk atau ketangguhan yang sama dan logam yang kuat belum tentu ketangguhannya tinggi. Hal yang jelas adalah bahwa sifat ini menurun dengan menurunnya temperatur dan menurun dengan mendadak pada suatu suhu tertentu yang disebut suhu traansisi.

- Kekerasan

Kekerasan merupakan ukuran ketahanan bahan terhadap deformasi tekan. Sebuah indentor yang keras ditekankan ke permukaan logam yang diuji. Deformasi yang terjadi merupakan kombinasi perilaku elastis dan plastis, akan tetapi kekrasan umumnya hanya berkaitan dengan sifat plastis dan hanya sebagian kecil bergantung pada sifat elastis. Dikenal beberapa cara pengukuran kekerasan, seperti kekerasan gores, yang

bergantung pada kemampuan gores bahan yang satu terhadap bahan yang lainnya. Ada beberapa macam pengukuran kekerasan yang perbedaan pokoknya terletak pada bentuk indenter yang ditekan pada permukaan, antara lain :

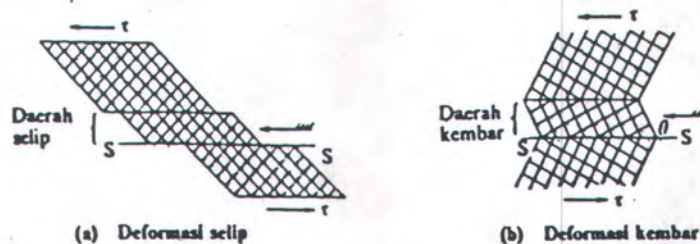
- Uji kekerasan Brinell menggunakan indenter bola baja yang dikeraskan.
- Uji kekerasan Vickers menggunakan indenter piramida intan dengan sudut 136° .
- Uji kekerasan Rockwell menggunakan indenter kerucut intan dengan sudut 120° dan ujungnya agak bulat.

Meskipun indentornya berbeda, bilangan kekerasan yang diperoleh sama-sama menggambarkan perbandingan antara beban dan luas permukaan jejak.

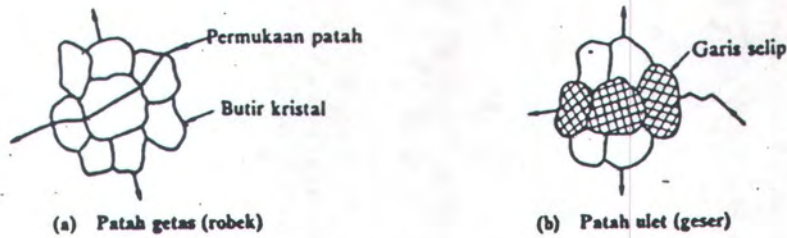
2.7. PATAHNYA KONSTRUKSI LAS

2.7.1 PATAH ULET

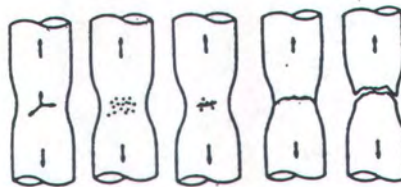
Gambar-gambar yang menunjukkan proses terjadinya patahan ditunjukkan dalam Gbr.2.18 , Gbr.2.19 , dan Gbr.2.20 sebagai berikut :



Gbr. 2.18 Deformasi slip dan lembar yang terjadi dalam kristal



Gbr 2.19 Patah ulet dan patah getas



Gbr. 2.20 Terjadinya patahan ulet

Ciri-ciri dari patahan ulet adalah sebagai berikut :

1. Terlihat adanya dformasi plastik yang cukup banyak, seperti terjadinya deformasi slip dan deformasi kembar.
2. Butir-butir kristal berubah bentuk memanjang karena adanya regangan geser.
3. Penampang lintang dari benda mengecil dan untuk baja muka patahnya berwarna keabu-abuan.

2.7.2 PATAH GETAS

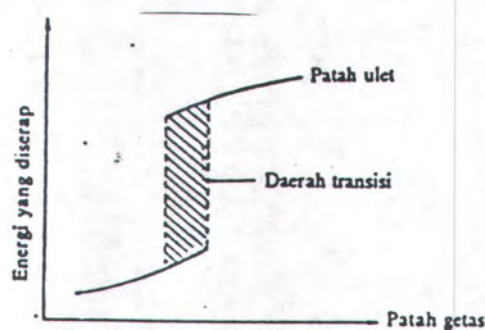
Patah getas terjadi pada saat yang tidak dapat diduga, baik pada waktu pembuatan maupun sesudah selesai pembuatan, dengan beban yang lebih rendah dari batas luluh bahan. Karena tidak dapat diduga sebelumnya, maka banyak kecelakaan, kerusakan dan kerugian yang diakibatkan oleh terjadinya patah getas.

Hal-hal umum yang terdapat pada patah getas adalah sebagai berikut :

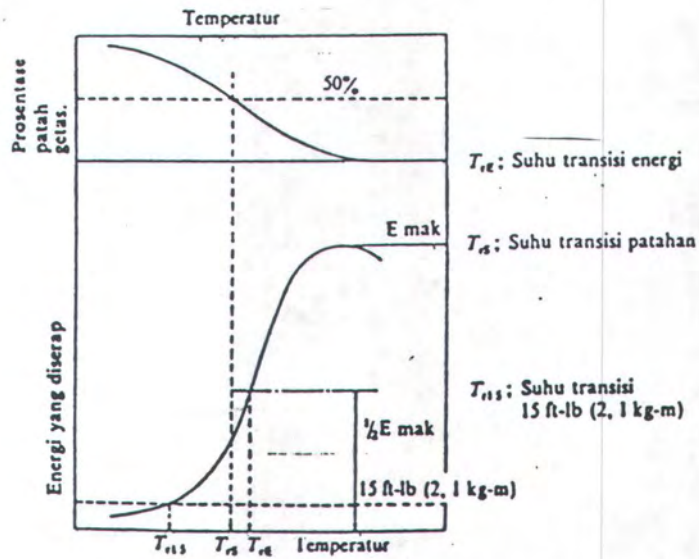
1. Kemungkinan terjadinya lebih besar pada suhu yang lebih rendah dari suhu ruang.
2. Patahannya tegak lurus terhadap arah tegangan tarik dengan permukaan patahan yang mengkilat. Hal ini disebabkan karena patah terjadi pada permukaan kristal. Disamping itu pada permukaan tampak adanya garis-garis halus yang dapat menunjukkan dengan mudah sumber patahan.
3. Patah biasanya mulai dari bagian logam yang terputus, baik dalam bahan maupun dalam bentuk yang dapat menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan. Keadaan terputus ini biasanya karena pengelasan yang kurang baik.
4. Tegangan yang menyebabkan patah getas selalu lebih rendah dari kekuatan luluh. Rambatan patahan dapat mencapai 2000 m/det.
5. Patah getas umumnya hanya terjadi pada logam dengan sel satuan BCC seperti pada baja lunak dan baja paduan rendah.

2.7.3 TAHANAN PATAH DAN CARA MENANGGULANGI PATAH GETAS

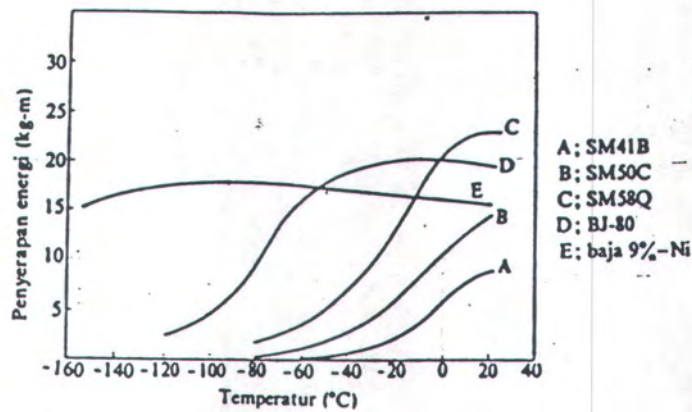
Tahanan logam terhadap patah getas dinamakan tahanan patah. Untuk baja karbon, tahanan patahnya akan menurun dengan cepat dengan menurunnya suhu baja. Jadi dalam hal ini terjadi perubahan dari patah ulet ke patah getas yang tergantung pada temperatur. Karena hal ini maka temperatur terjadinya perubahan tersebut dinamakan temperatur transisi, seperti ditunjukkan dalam Gbr.2.21. Dalam Gbr.2.22 dan Gbr.2.23 ditunjukkan besarnya tahanan patah yang diukur dengan besarnya energi yang diserap. Suhu dimana terjadi patahan dengan setengah energi maksimum dinamakan suhu transisi. Dalam Gbr.2.23 ditunjukkan besarnya tahanan patah yang diukur dengan besarnya energi yang diserap untuk beberapa jenis baja.



Gbr. 2.21 Keadaan transisi pada patahan



Gbr. 2.22 Hubungan antara prosentase patah getas dan energi yang diserap dengan temperatur pengujian (Charpy takik V)



Gbr. 2.23 Kurva energi- temperatur beberapa baja (Charpy takik V-2 mm)

Beberapa hal yang menyebabkan terjadinya patah getas dan usaha untuk menghindarinya secara umum dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Temperatur kerja dan sifat dari baja yang mempunyai suhu transisi yang rendah. Hal ini dapat dihindari dengan memilih baja dan bahan las yang mempunyai tahanan patah yang baik.
2. Adanya takikan yang disebabkan karena retak las, terak dan lainnya yang dapat dihindari dengan memperbaiki prosedur pengelasan sehingga mengurangi terjadinya retak dan takik las.
3. Adanya tegangan sisa yang besar yang dapat dihindari dengan prosedur pengelasan yang sesuai, misalnya urutan pengelasan yang benar.
4. Terjadinya penurunan mutu bahan pada daerah HAZ yang dapat dihindari dengan cara pengelasan yang sesuai.
5. Adanya konsentrasi tegangan pada sambungan, yang dapat dihindari dengan perencanaan konstruksi yang baik.
6. Adanya perubahan bentuk yang dapat menimbulkan terjadinya tegangan yang besar dalam konstruksi. Hal ini dapat dikurangi dengan melalui prosedur pengelasan dan perakitan yang baik.

BAB III

PELAKSANAAN DAN HASIL PENGUJIAN

3.1. UMUM

Pada bagian-bagian tertentu konstruksi kapal, lebih-lebih pada lambung kapal akan mengalami suatu beban kejutan dalam operasinya. Misalnya, gaya yang terjadi akibat dari gerakan dinamis kapal itu sendiri maupun benturan-benturan dengan fluida atau benda lain yang sulit dihindari. Untuk hal tersebut maka ketangguhan suatu material terhadap beban mendadak serta faktor-faktor yang mempengaruhi sifat tersebut perlu diketahui dan diperhatikan, lebih-lebih pada konstruksi las-lasan. Pada proses pengelasan, biasanya akan terjadi deformasi, retak ataupun cacat-cacat yang lain yang mengakibatkan adanya perbaikan ataupun pengelasan ulang. Hal ini banyak terjadi pada proses penyambungan pelat maupun pada proses reparasi lambung kapal, sehingga akan menyebabkan berubahnya susunan metalurgi dan berkurangnya kekuatan material baja. Untuk menganalisa hal tersebut dilakukan beberapa pengujian, antara lain : photomikro, uji kekerasan (Brinell), dan uji impact pada spesimen uji yang telah dipersiapkan.

3.2. PERSIAPAN SPESIMEN UJI

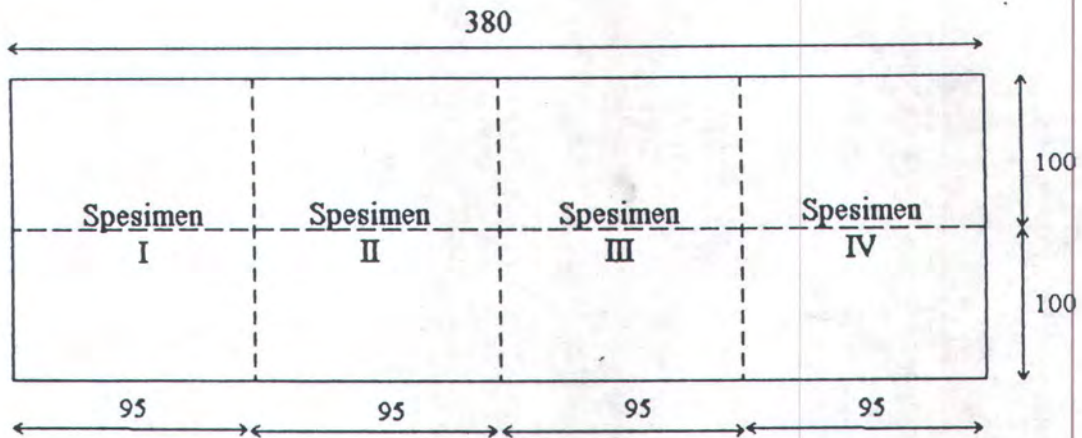
Spesimen uji dibuat dari pelat baja SS41 (mild steel) untuk ketebalan 12 mm dengan komposisi kimia sebagai berikut :

C = 0,16 %, Si = 0,019 %, Mn = 0,946 %, P = 0,012 %, S = 0,008 %, Al = 0,035 %.

Jumlah spesimen untuk setiap prosedur pengelasan diambil 3 buah spesimen dan untuk material murni (material yang tidak mengalami proses pengelasan) sebanyak 3 buah.

Sehingga total spesimen dari 4 kali / tahap proses pengelasan ulang dan material murni

adalah 15 buah spesimen. Untuk keperluan tersebut dilakukan pembagian material sebagai berikut :

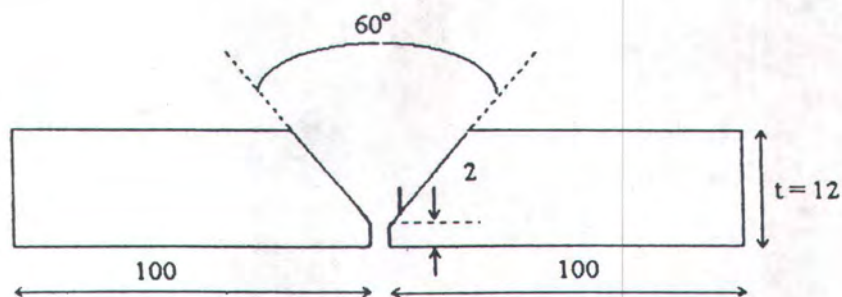


Gbr. 3.1 Pembagian material uji untuk pemotongan

Dimana :

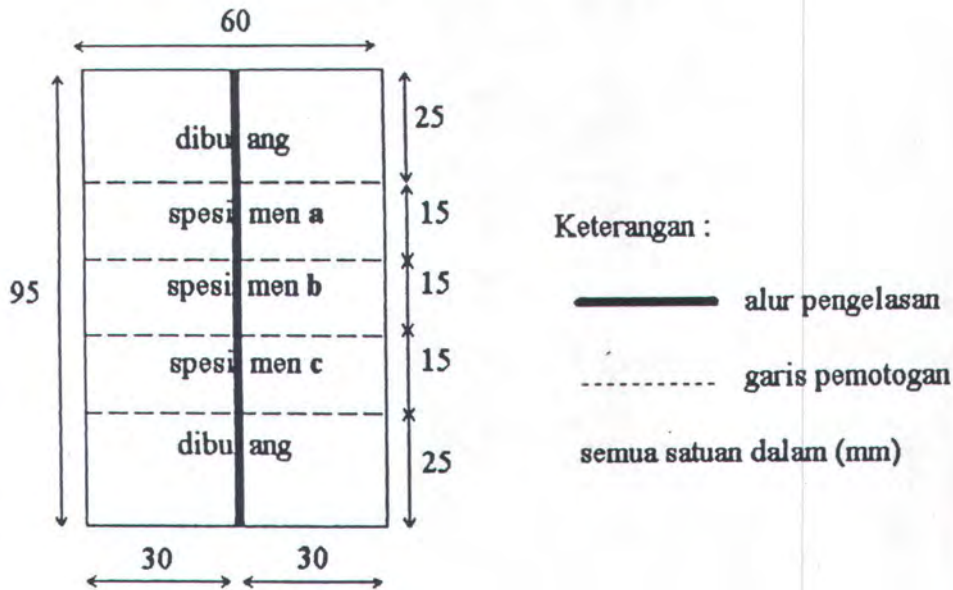
- Spesimen I adalah spesimen dengan 1 kali proses pengelasan.
- Spesimen II adalah spesimen dengan 2 kali proses pengelasan.
- Spesimen III adalah spesimen dengan 3 kali proses pengelasan.
- Spesimen IV adalah spesimen dengan 4 kali proses pengelasan.
- Spesimen V adalah spesimen untuk material murni (diambil dari potongan material yang tidak mengalami proses pengelasan).
- Semua angka dalam satuan [mm].

Persiapan sisi spesimen sebelum pengelasan diambil dari rekomendasi JSSC tentang persiapan untuk pengelasan baja dengan busur listrik (JSSC - 1997) sebagai berikut :



Gbr. 3.2 Persiapan sisi spesimen uji

Untuk pengambilan spesimen uji dari material lasan dilakukan dengan berpedoman pada AWS untuk setiap prosedur pengelasan adalah sebagai berikut :



Gbr. 3.3 Pengambilan spesimen uji dari material lasan

Spesimen yang telah dipotong diusahakan agar permukaannya rata dan halus, sehingga memudahkan untuk menggosoknya. Tahap pertama, menghilangkan goresan-goresan yang terlalu dalam dengan menggunakan kertas gosok yang kasar mulai dari grid 120 dengan dibasahi air pada mesin polisher. Setelah rata dan halus spesimen dicuci dengan air, agar beram-beramnya tidak mengotori permukaannya, kemudian dilanjutkan dengan menggosok kembali dengan kertas gosok yang relatif agak halus yaitu grid 320. Proses pengerjaannya sama dengan tahap sebelumnya, hanya saja arah penggosokannya tegak lurus dengan bekas-bekas gosokan yang terdahulu. Setelah selesai dengan grid yang halus yaitu grid 1000, kemudian spesimen dicuci dan dikeringkan. Penggosokan dimulai lagi dengan menekan spesimen pada polisher. Diatas piringan polisher tersebut yang pada tahap sebelumnya diberi kertas gosok, pada tahap ini diganti dengan kain khusus yaitu kain velvet (sejenis bludru). Pada saat penggosokan dalam tahap ini diatas kain tersebut diberikan pasta yang dinamakan alumina. Proses polishing ini dianggap

selesai kalau bekas-bekas goresan sudah tidak ada lagi dan permukaan spesimen telah rata dan halus serta mengkilap seperti cermin. Kemudian spesimen dibersihkan dari sisa-sisa polishing powder dengan air dan alkohol, kemudian dikeringkan dengan dryer.

3.3. TEKNIK DAN PROSEDUR PENGELASAN SPESIMEN UJI

Material uji yang digunakan adalah pelat baja SS41 dengan ukuran seperti terlihat pada Gbr. 3.1, dimana pada material uji tersebut dilakukan proses pengelasan ulang sebanyak 4 kali / tahap. Pada tahap pertama, setelah dilakukan persiapan sisi (lihat Gbr. 3.2) dilakukan las ikat atau tack weld agar tidak terjadi deformasi, lalu dilakukan pengelasan sehingga penuh dan kemudian dipotong untuk dibuat spesimen yaitu spesimen I. Sisa material uji yang telah mengalami pengelasan pada tahap pertama di atas, digouging dan digerinda sehingga terbentuk persiapan sisi lagi, lalu dilas untuk kedua kalinya sehingga penuh dan dipotong lagi untuk dibuat spesimen yaitu spesimen II. Demikian juga pada tahap-tahap berikutnya sehingga material uji telah mengalami pengelasan ulang sampai 4 kali. Perlu ditambahkan disini, bahwa pembongkaran (gouging) pada tiap tahap pengelasan dilakukan setelah material uji mendingin sampai suhu kamar 27 °C.

Prosedur pengelasan material uji pada penelitian ini disusun berdasarkan standard yang telah direkomendasikan oleh AWS, yaitu sebagai berikut :

WELDING PROCEDURE

- Material specification : Low carbon steel (Mild steel)
SS 41 thickness 12 mm.
- Welding process : SMAW.
- Manual or machine : Manual.

- Position of welding : 1 G (Flat).
- Filler metal specification : AWS- E 6013.
- Polarity : AC or DC.

Sedangkan untuk perincian proses pengelasan dan pembongkaran yang dilakukan pada setiap tahap adalah sebagai berikut :

- Pengelasan :
 - Jenis elektrode : AWS- E 6013.
 - Diameter : 3,2 mm.
 - Arus : 115 Ampere (4 layer).
- Pembongkaran :
 - Elektrode gouging : ESAB Ok 21.03.
 - Diameter : 3,25 mm.
 - Arus : 160 Ampere.

Jumlah elektrode yang digunakan dalam pengelasan material uji dari tahap I - IV masing-masing adalah : 15, 11, 8, 4 batang. Sedangkan jumlah elektrode gouging yang digunakan dalam pembongkaran las-lasan tersebut dari tahap I - IV masing-masing adalah : 9, 6, 3 batang.

3.4. MAKRO ETSA

Proses etsa kita gunakan untuk mendapatkan gambaran yang nyata dari struktur spesimen uji setelah dipotong melintang, untuk mengetahui dengan jelas daerah logam lasan, batas las, daerah pengaruh panas (HAZ), serta logam induk. Dengan demikian diharapkan akan lebih memudahkan pada pengujian-pengujian yang dilakukan baik pada

saat uji metallography (fotomikro), uji brinell, maupun pada penentuan takikan (notch) pada uji impact. Sedangkan langkah-langkah etsa adalah sebagai berikut :

- Setelah material dipotong menjadi spesimen uji, dilakukan penggerindaan.
- Selanjutnya dilakukan penggosokan dengan mesin polisher dan kertas gosok sampai mengkilap, seperti yang telah dijelaskan pada sub bab 3.2.
- Permukaan yang telah mengkilap diolesi dengan larutan etsa yang merupakan campuran alkohol dan asam nitrit dengan perbandingan 5 : 1.
- Kemudian dibersihkan dengan alkohol hingga terlihat batas-batas antara weld metal, HAZ, dan base metal dan selanjutnya dikeringkan dengan dryer.

3.5. UJI METALLOGRAPHY (FOTOMIKRO)

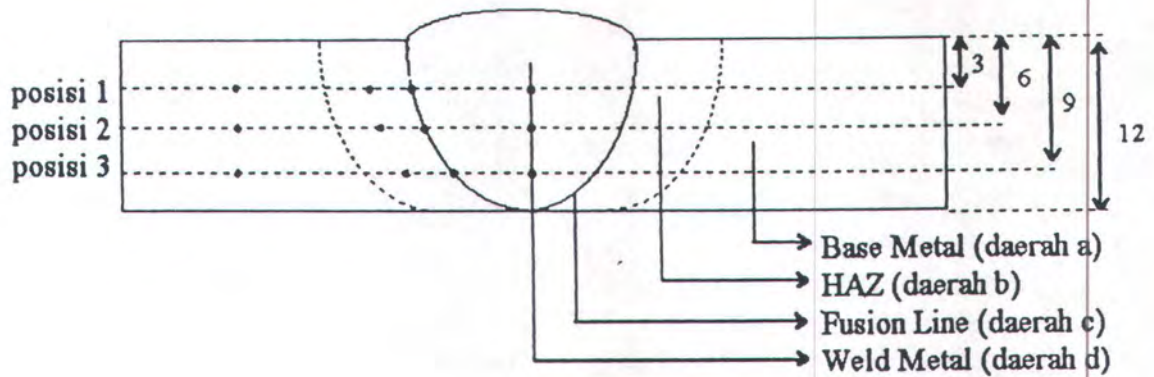
Spesimen uji yang telah dietsa tersebut diamati dengan mikroskop metallography, sehingga dapat diketahui perubahan-perubahan yang terjadi pada struktur mikro spesimen uji dari setiap tahap pengelasan ulang. Setiap spesimen uji yang diamati tersebut kemudian strukturnya difoto. Untuk lebih jelasnya hasil fotomikro dapat dilihat pada lampiran I.

3.6. UJI KEKERASAN (HARDNESS TEST)

Maksud dari pengujian kekerasan pada percobaan ini adalah untuk mengetahui nilai kekerasan material baja setelah beberapa kali proses pengelasan. Dari setiap tahap pengelasan dilakukan pengujian sehingga dapat diketahui sampai dimana tingkat kekerasan material. Dalam penelitian ini digunakan uji kekerasan Brinell yang menggunakan indentor bola baja yang dikeraskan dengan diameter 1 mm.

- Langkah kerja uji kekerasan Brinell :

1. Melakukan makro etsa untuk mengetahui batas-batas antara weld metal, HAZ, dan base metal, dengan langkah-langkah seperti dalam sub bab 3.4.
2. Menentukan titik-titik untuk daerah pengujian.



Gbr. 3.4. Penentuan titik uji kekerasan

3. Beban uji yang digunakan adalah 30 kgf dan selama pembebanan berlangsung mesin uji harus terhindar dari getaran maupun sentakan.
4. Lamanya waktu pembebanan diambil 15 detik.

Waktu pembebanan adalah waktu sejak beban maksimum dicapai sampai saat pembebanan beban uji.

3.7. HASIL UJI KEKERASAN BRINELL

Keterangan tabel :

- I (a, b, c) adalah spesimen dengan 1 kali proses pengelasan.
- II (a, b, c) adalah spesimen dengan 2 kali proses pengelasan.
- III (a, b, c) adalah spesimen dengan 3 kali proses pengelasan.
- IV (a, b, c) adalah spesimen dengan 4 kali proses pengelasan.
- HB adalah bilangan kekerasan Brinell [kg /mm²] dengan formula sebagai berikut :

$$HB = \frac{P}{0,5 \pi D (D - (D^2 - d^2)^{0,5})}$$

Dimana : P = Beban (dalam pengujian ini digunakan 30 kgf).

D = Diameter indenter (dalam pengujian ini digunakan 1 mm).

d = Diameter jejak hasil pengujian (mm).

(Tabel hasil uji kekerasan dapat dilihat pada halaman berikut ini)

3.8 PENGUJIAN IMPACT (IMPACT TEST)

3.8.1 UMUM

Impact test bisa diartikan suatu test yang mengukur *thougness* atau kekenyalan suatu material, yaitu kemampuan suatu material untuk menyerap energi sebelum terjadinya kepatahan. Dalam hal ini energi didapat dari suatu bandul yang mempunyai ketinggian tertentu dan berayun memukul benda uji. Berkurangnya energi potensial dari bandul sebelum dan sesudah memukul benda uji merupakan energi yang diserap benda uji tersebut.

Takik (notch) memegang peranan penting terhadap kekuatan impact suatu material. Dua buah benda kerja yang mempunyai luas penampang dan penahan beban yang sama bisa mempunyai kekuatan impact yang jauh berbeda akibat dari perbedaan takik yang dimiliki. Adanya takikan pada benda kerja yang berupa bentuk konfigurasi hasil desain, pengerjaan yang salah seperti diskontinuitas pada pengelasan, atau pada korosi lokal bisa bersifat sebagai pemusat konsentrasi tegangan. Adanya pusat-pusat tegangan ini bisa menyebabkan material menjadi *brittle* dan material menjadi patah pada beban dibawah *yield strength*.

Tabel 3.1 NILAI UJI KEKERASAN PADA WELD METAL

Specimen		Posisi	d (mm)	HB (kg/mm ²)	HB rata-rata	
I	a	1	0,52	131,027	129,254	127,482
		2	0,523	125,710		
		3	0,52	131,027		
	b	1	0,523	125,710	125,710	
		2	0,523	125,710		
		3	0,523	125,710		
	c	1	0,52	131,027	127,482	
		2	0,523	125,710		
		3	0,523	125,710		
II	a	1	0,52	131,027	129,229	130,427
		2	0,525	128,331		
		3	0,525	128,331		
	b	1	0,52	131,027	131,027	
		2	0,52	131,027		
		3	0,52	131,027		
	c	1	0,52	131,027	131,027	
		2	0,52	131,027		
		3	0,52	131,027		
III	a	1	0,515	133,802	133,802	134,750
		2	0,515	133,802		
		3	0,515	133,802		
	b	1	0,51	136,657	135,705	
		2	0,515	133,802		
		3	0,51	136,657		
	c	1	0,515	133,802	134,753	
		2	0,515	133,802		
		3	0,51	136,657		
IV	a	1	0,51	136,657	136,657	135,705
		2	0,51	136,657		
		3	0,51	136,657		
	b	1	0,51	136,657	134,825	
		2	0,515	133,802		
		3	0,51	136,657		
	c	1	0,51	136,657	136,657	
		2	0,51	136,657		
		3	0,51	136,657		

Tabel 3.2 NILAI UJI KEKERASAN PADA FUSION LINE

Specimen		Posisi	d (mm)	HB (kg/mm ²)	HB rata-rata	
I	a	1	0,52	131,027	131,027	130,436
		2	0,52	131,027		
		3	0,52	131,207		
	b	1	0,52	131,207	129,254	
		2	0,523	125,710		
		3	0,52	131,027		
	c	1	0,52	131,027	131,027	
		2	0,52	131,027		
		3	0,52	131,027		
II	a	1	0,51	136,657	136,657	138,646
		2	0,51	136,657		
		3	0,51	136,657		
	b	1	0,50	142,626	140,636	
		2	0,51	136,657		
		3	0,50	142,626		
	c	1	0,50	142,626	138,646	
		2	0,51	136,657		
		3	0,51	136,657		
III	a	1	0,49	148,960	147,888	148,256
		2	0,49	148,960		
		3	0,495	145,745		
	b	1	0,49	148,960	146,816	
		2	0,495	145,745		
		3	0,495	145,745		
	c	1	0,485	152,274	150,064	
		2	0,49	148,960		
		3	0,49	148,960		
IV	a	1	0,46	170,486	171,821	171,821
		2	0,46	170,486		
		3	0,455	174,491		
	b	1	0,455	174,491	173,156	
		2	0,455	174,491		
		3	0,46	170,486		
	c	1	0,46	170,486	170,486	
		2	0,46	170,486		
		3	0,46	170,486		

Tabel 3.3 NILAI UJI KEKERASAN PADA HAZ

Specimen		Posisi	d (mm)	HB (kg/mm ²)	HB rata-rata	
I	a	1	0,51	136,657	134,753	135,070
		2	0,515	133,802		
		3	0,515	133,802		
	b	1	0,51	136,657	136,657	
		2	0,51	136,657		
		3	0,51	136,657		
	c	1	0,515	133,802	133,802	
		2	0,515	133,802		
		3	0,515	133,802		
II	a	1	0,50	142,626	143,665	141,992
		2	0,50	142,626		
		3	0,495	145,745		
	b	1	0,50	142,626	140,636	
		2	0,51	136,657		
		3	0,50	142,626		
	c	1	0,495	145,745	141,676	
		2	0,51	136,657		
		3	0,50	142,626		
III	a	1	0,48	155,691	154,552	156,094
		2	0,485	152,274		
		3	0,48	155,691		
	b	1	0,48	155,691	155,691	
		2	0,48	155,691		
		3	0,48	155,691		
	c	1	0,475	159,216	158,041	
		2	0,48	155,691		
		3	0,475	159,216		
IV	a	1	0,44	187,331	185,856	186,364
		2	0,445	182,907		
		3	0,44	187,331		
	b	1	0,44	187,331	188,856	
		2	0,44	187,331		
		3	0,435	189,908		
	c	1	0,445	182,907	184,381	
		2	0,445	182,907		
		3	0,44	187,331		

Tabel 3.4 NILAI UJI KEKERASAN PADA BASE METAL

Specimen		Posisi	d (mm)	HB (kg/mm ²)	HB rata-rata	
I	a	1	0,53	125,710	124,010	124,860
		2	0,535	123,161		
		3	0,535	123,161		
	b	1	0,53	125,710	125,710	
		2	0,53	125,710		
		3	0,53	125,710		
	c	1	0,53	125,710	124,860	
		2	0,535	123,161		
		3	0,53	125,710		
II	a	1	0,523	129,754	129,279	129,262
		2	0,525	128,331		
		3	0,523	129,754		
	b	1	0,525	128,331	128,805	
		2	0,525	128,331		
		3	0,523	129,754		
	c	1	0,52	131,027	129,704	
		2	0,525	128,331		
		3	0,523	129,754		
III	a	1	0,52	131,027	130,602	130,585
		2	0,523	129,754		
		3	0,52	131,027		
	b	1	0,52	131,027	131,027	
		2	0,52	131,027		
		3	0,52	131,027		
	c	1	0,52	131,027	130,128	
		2	0,525	128,331		
		3	0,525	128,331		
IV	a	1	0,51	136,657	134,753	133,502
		2	0,515	133,802		
		3	0,515	133,802		
	b	1	0,515	133,802	132,952	
		2	0,52	131,027		
		3	0,515	133,802		
	c	1	0,515	133,802	133,802	
		2	0,515	133,802		
		3	0,515	133,802		

Fracture atau kepatahan pada suatu material bisa digolongkan sebagai *brittle* atau *ductile fracture*. Suatu material yang mengalami kepatahan tanpa mengalami suatu deformasi plastis dikatakan patah secara *brittle*. Sedang apabila kepatahan didahului dengan suatu deformasi plastis dikatakan patah secara *ductile*. Material yang mengalami *brittle fracture* hanya mampu menahan energi yang kecil saja sebelum mengalami kepatahan. Ketahanan suatu material menahan energi impact sangat dipengaruhi oleh temperature kerja. Efek dari temperature terhadap kekuatan impact pada beberapa jenis material dapat menahan energi impact yang relatif tinggi walaupun pada temperatur rendah. Dalam penelitian ini digunakan suhu rendah (0 °C) untuk mendapatkan kondisi *brittle material*, sehingga lebih jelas dalam analisa perbandingannya.

Energi impact suatu material minimum terjadi pada temperature transisi. Temperature transisi merupakan temperature yang penting untuk diperhatikan, karena pada temperatur ini terjadi perubahan sifat dari *ductile* menjadi *brittle* atau sebaliknya. Apabila temperatur operasi dari suatu peralatan berada di bawah temperatur transisi dari material, maka *brittle fracture* bukan merupakan masalah. Ukuran kristal yang kecil dan unsur-unsur seperti Mn dan Ni cenderung memperendah temperatur transisi.

Metode pengujian impact yang umum dipakai adalah metode Charphy. Kekuatan impact suatu bahan didefinisikan sebagai energi yang digunakan untuk mematahkan batang uji dibagi dengan luas penampang pada daerah takikan. Energi untuk mematahkan batang uji dihitung berdasarkan beat dan ketinggian ayunan pendulum sebelum dan sesudah impact. Tanpa memperhatikan kehilangan energi, energi yang dipakai untuk mematahkan benda uji dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Energi awal (} E_0 \text{) ; } W * h_0 = W * L (1 - \text{Cos } \alpha)$$

$$\text{Energi akhir (} E_1 \text{) ; } W * h_1 = W * L (1 - \text{Cos } \beta)$$

Energi untuk mematahkan benda uji (E) adalah :

$$E = E_0 - E_1$$

$$W (h_0 - h_1) = W * L (\cos \beta - \cos \alpha) \quad [\text{kg m}].$$

Dimana :

W = berat pendulum [kg]

h_0 = ketinggian pendulum sebelum diayunkan [m]

h_1 = ketinggian pendulum setelah keadaan patah [m]

L = jarak antara titik berat dari pendulum ke sunbu putar O [m]

α = sudut awal

β = sudut akhir

Sehingga kekuatan impact atau *Impact Strength* (IS) dari suatu spesimen uji dapat dihitung dengan formula sebagai berikut:

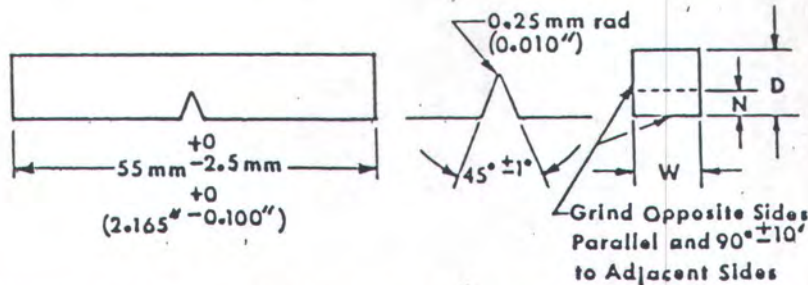
$$IS = \frac{W * L (\cos \beta - \cos \alpha)}{A}$$

Dimana : A = Luas penampang spesimen uji pada bagian yang bertakik [mm].

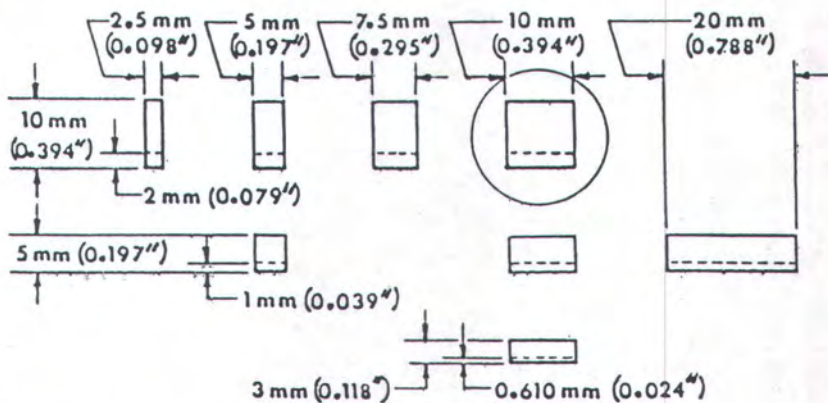
3.8.2 PROSEDUR PENGUJIAN IMPACT

1. Persiapan spesimen uji

- Dengan spesimen yang sama, setelah diuji kekerasan selanjutnya dilakukan pengerjaan dingin untuk pembentukan spesimen Charpy Impact Test.
- Dimensi spesimen Charpy Impact Test dibuat berdasarkan standard ASTM E-23 seperti pada gambar berikut.



On subsize specimens the length, notch angle, and notch radius are constant (see Fig. 6); depth (D), notch depth (N), and width (W) vary as indicated below.



NOTE 1—Circled specimen is the standard specimen (see Fig. 6).

NOTE 2—Permissible variations shall be as follows:

Cross-section dimensions	$\pm 1\%$ or ± 0.075 mm (0.003 in.), whichever is smaller
Radius of notch	± 0.025 mm (0.001 in.)
Depth of notch	± 0.025 mm (0.001 in.)
Finish requirements	$2\ \mu\text{m}$ (63 $\mu\text{in.}$) on notched surface and opposite face; $4\ \mu\text{m}$ (125 $\mu\text{in.}$) on other two surfaces

Gbr. 3.5 Dimensi spesimen uji impact

- Tiap prosedur pengelasan diambil 2 spesimen untuk notch terletak pada weld metal dan 1 spesimen notch terletak pada HAZ.
- Pemeriksaan fisik ulang pada spesimen untuk menghindari kemungkinan terjadinya cacat fisik sehingga tidak sesuai dengan standardisasi yang digunakan dan pengukuran ulang pada spesimen yang meliputi panjang, lebar, tebal, dan kedalaman notch.

- Menghitung luas penampang (A) tepat pada notch.

$$A = \text{lebar} * (\text{tebal} - \text{kedalaman notch})$$

- Pengujian dilakukan pada temperatur 0 °C yang dibuat dengan mencampurkan alkohol dengan es dan selanjutnya spesimen dimasukkan kedalamnya selama lebih kurang 10 menit, selain itu juga digunakan termometer untuk mengontrol suhu spesimen.

2. Pelaksanaan pengujian

- Mengangkat pendulum ke atas dan menguncinya dengan tuas kunci.
- Memasang spesimen pengujian pada tempatnya dengan posisi notch tepat pada tengah-tengah.
- Mengatur jarum skala penunjuk tepat pada posisi yang telah ditentukan untuk pengujian.
- Menekan dan memutar tuas pengunci sehingga pendulum akan terlepas dari tempatnya dan berayun ke bawah dan memukul spesimen uji.
- Dilihat dan dicatat besarnya energi [joule] yang dilakukan pendulum untuk memukul spesimen uji. Besarnya energi impact dapat dilihat dari angka yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk.

3. Penanganan setelah pengujian

- Spesimen yang telah diuji diambil dari bagian dalam alat uji impact dan diamati.
- Melakukan perhitungan dan analisa dari data-data yang telah diperoleh dari pengujian.

3.8.3 HASIL PENGUJIAN IMPACT

Tabel 3.5 HASIL UJI IMPACT MATERIAL MURNI

Specimen V	Luasan pada notch [mm ²]	Energi Impact [Joule]	Kuat Impact [Joule/mm ²]	Kuat Impact rata- rata
a	80	130,9	1,636	1,692
b	80	139,4	1,742	
c	80	135,9	1,698	

Tabel 3.6 HASIL UJI IMPACT DENGAN NOTCH PADA WELD METAL

Specimen		Luasan pada notch [mm ²]	Energi Impact [Joule]	Kuat Impact [Joule/mm ²]	Kuat Impact rata- rata
I	a	80	135,3	1,691	1,665
	b	80	131,25	1,640	
II	a	80	108,5	1,356	1,373
	b	80	111,3	1,391	
III	a	80	81,3	1,016	1,011
	b	80	80,6	1,007	
IV	a	80	67,2	0,840	0,842
	b	80	64,7	0,808	

Tabel 3.7 HASIL UJI IMPACT DENGAN NOTCH PADA HAZ

Specimen c	Luasan pada notch [mm ²]	Energi Impact [Joule]	Kuat Impact [joule/mm ²]
I	80	108,9	1,361
II	80	83,5	1,043
III	80	64,2	0,802
IV	80	42,25	0,522

BAB IV

ANALISA HASIL PENGUJIAN

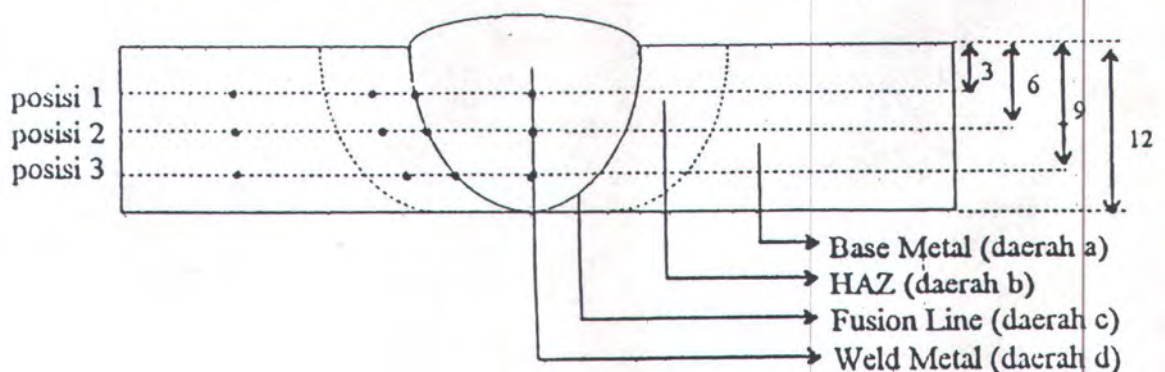
4.1 PENDAHULUAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, baik uji kekerasan, uji impact, maupun fotomikro struktur menunjukkan hasil yang berbeda-beda pada keempat macam spesimen (spesimen I, II, III dan IV). Dalam bab ini akan dilakukan analisa perbandingan dari keempat macam spesimen tersebut dalam pengaruhnya terhadap pembentukan sifat kekerasan dan ketangguhan material lasan serta perubahan-perubahan yang terjadi pada struktur mikronya dengan tujuan untuk menentukan standard over matching material SS 41 yaitu sampai dimana material tersebut boleh dilakukan proses pengelasan ulang.

4.2 ANALISA HASIL PENGUJIAN

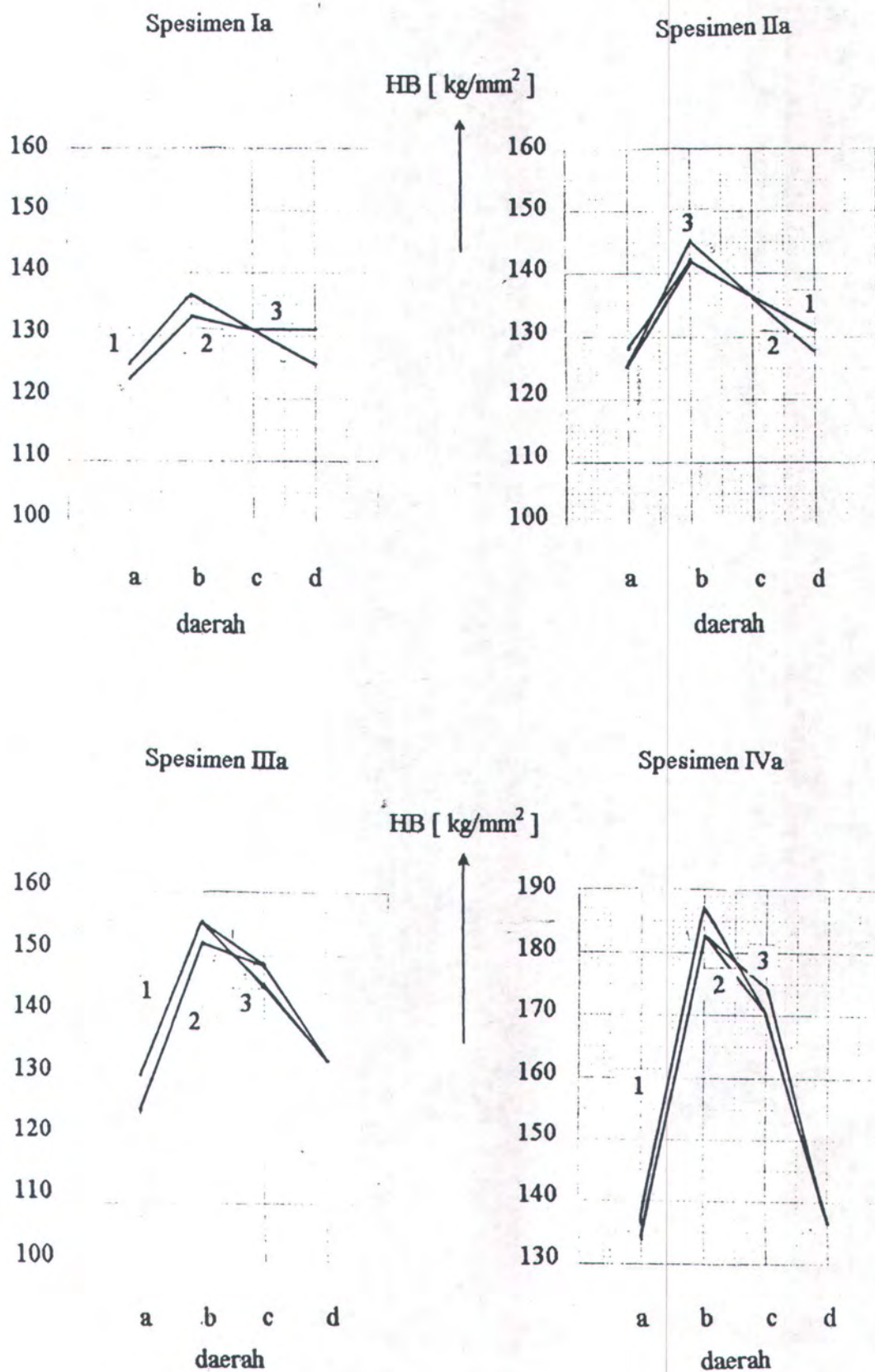
4.2.1 ANALISA HASIL UJI KEKERASAN BRINELL

Untuk lebih memudahkan dalam analisa berikut, data yang telah didapat dari hasil uji kekerasan dibuat grafik tingkat kekerasan terhadap titik posisi pengujian dan daerah pengamatan seperti gambar 4.1 sebagai berikut :

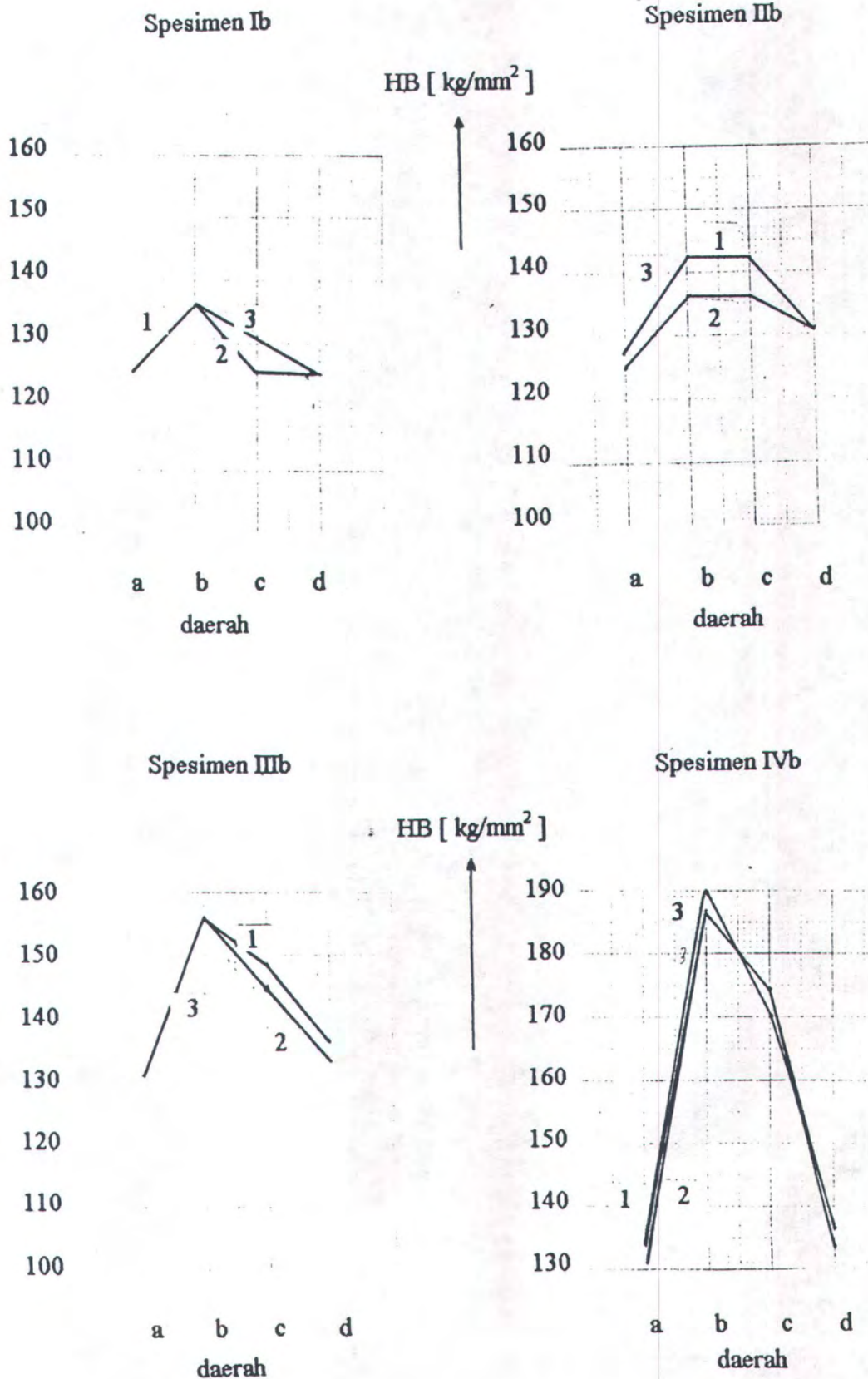


Gbr. 4.1 Posisi dan daerah titik uji kekerasan.

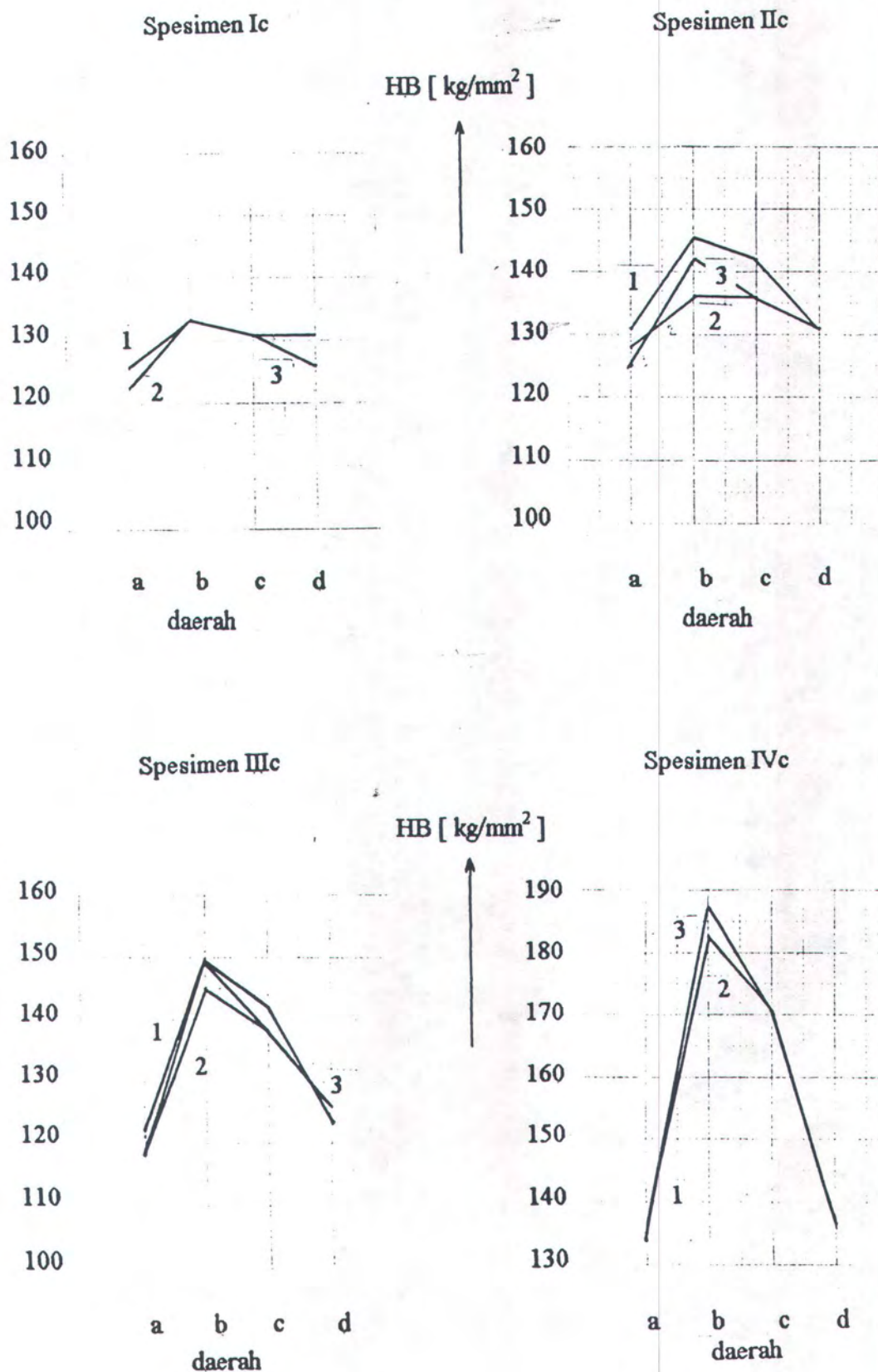
Gbr.4.2 Grafik kekerasan - daerah posisi spesimen a



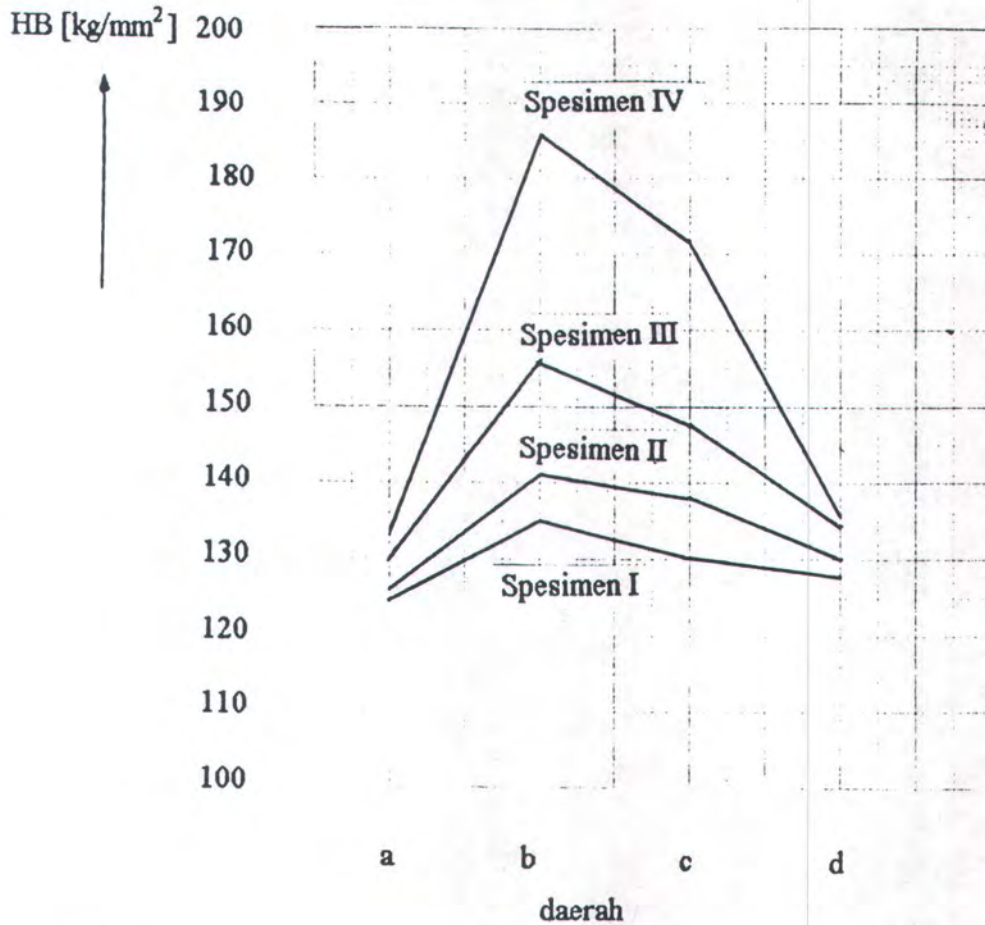
Gbr.4.3 Grafik kekerasan - daerah posisi spesimen b



Gbr.4.4 Grafik kekerasan - daerah posisi spesimen c



Gbr.4.5 Grafik rata-rata kekerasan -daerah dan spesimen



Dari grafik-grafik tersebut diatas dapat dilakukan analisa-analisa antara lain sebagai berikut:

1. Kekerasan material berdasarkan posisi titik pengamatan.

Secara umum dari grafik-grafik tersebut diatas terlihat bahwa nilai kekeraan pada posisi 1 dan 3 cenderung lebih tinggi jika dibanding dengan posisi 2. Hal ini disebabkan karena pengelasan dilakukan dengan sistem layer (dalam hal ini 4 layer) sehingga layer tengah (posisi 2) memiliki pre-heat dari interpas layer dibawahnya dan post-heat dari interpas layer diatasnya, disamping juga karena pengaruh daerah tepi yang lebih cepat dingin.

2. Kekerasan material akibat beberapa kali pengelasan ulang.

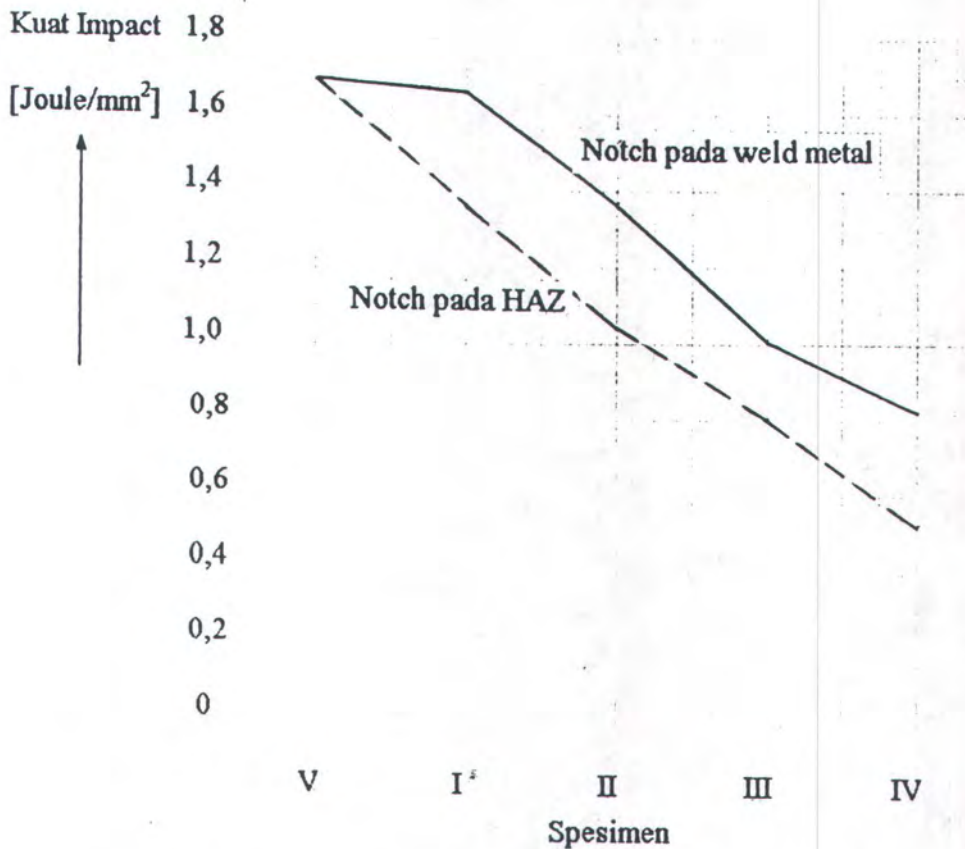
Dari pengujian kekerasan pada material uji memperlihatkan kekerasan yang berbeda-beda pada tiap tahap pengelasan (lihat gbr 4.6). Pada spesimen I dan II perubahan yang terjadi tidak begitu besar pada base metal dimana kekerasannya hanya berubah dari 124,86 HB menjadi 126,865 HB, begitu juga pada daerah weld metal. Namun pada daerah HAZ dan fusion line mengalami kenaikan yang lebih besar dari pada daerah base metal maupun weld metal. Hal ini terjadi karena daerah ini adalah daerah yang paling banyak menerima panas akibat perlakuan las mulai dari pengelasan - pembongkaran - pengelasan lagi, dimana pembongkaran (*gouging*) yang dilakukan menggunakan ampere yang cukup besar lebih kurang 160 A, sehingga mengakibatkan semakin lebarnya daerah HAZ dan meningkatnya kekerasan di daerah tersebut. Perubahan pada daerah tersebut akan lebih tampak lagi setelah material uji dilakukan pengelasan dan pembongkaran sampai 4 kali (lihat gbr. 4.6 spesimen III dan IV). Pada spesimen III kekerasan HAZ mencapai 156,094 HB, sedangkan pada spesimen IV kekerasannya naik menjadi 186,364 HB. Jadi kenaikannya 30,27 HB. Hal tersebut terjadi karena adanya panas yang diterimanya semakin besar sehingga mengakibatkan *peak temperatur* dan *cooling rate* yang besar pula, sehingga terbentuk struktur dengan grain size yang halus, dimana grain size yang halus ini merupakan daerah yang memiliki kekerasan yang tinggi.

4.2.2 ANALISA HASIL UJI IMPACT

Uji impact dilakukan pada suhu 0° C dengan tujuan untuk mendapatkan kondisi brittle material sehingga mempermudah dalam analisa perbandingan dari setiap

pengelasan karena akan lebih memperjelas perbedaan penampang patahan. Untuk lebih memudahkan dalam analisa, data yang telah diperoleh diplotkan ke grafik nilai kuat impact terhadap material murni dan material yang telah mengalami pengelasan ulang.

Gbr. 4.6 Grafik Kuat Impact - Spesimen

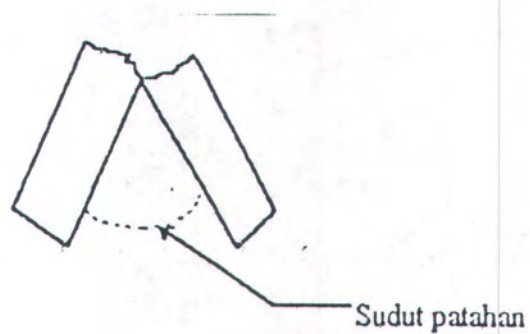


Dari grafik diatas terlihat sekali perbedaan nilai kuat impact antara material murni (spesimen V), dengan material yang telah mengalami pengelasan ulang sampai dengan 4 kali (spesimen I, II, III dan IV), baik untuk notch pada weld metal maupun HAZ.

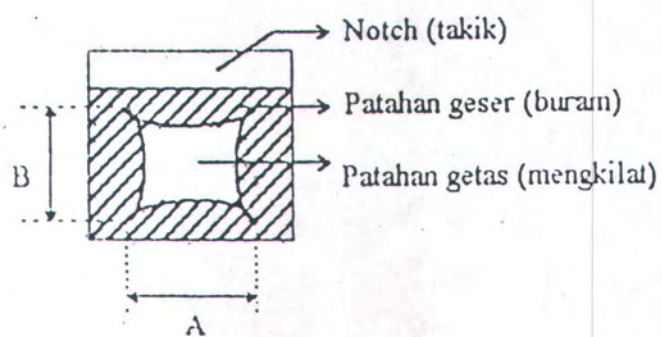
Pada spesimen I nilai kuat impact tidak mengalami penurunan yang berarti dimana kuat impactnya masih mendekati nilai kuat impact material murni yaitu sebesar $1,665 \text{ J/mm}^2$ (notch pada weld metal) dan $1,361 \text{ J/mm}^2$ (notch pada HAZ. Akan tetapi

pada spesimen II, III dan IV terjadi perubahan menuju ke besar, lebih-lebih pada spesimen IV, yang mana nilai kuat impactnya turun lebih kurang $1/2$ kali kuat impact material murni, yaitu sebesar $0,824 \text{ J/mm}^2$ (notch pada weld metal) dan $0,522 \text{ J/mm}^2$ (notch pada HAZ). Hal ini disebabkan karena material telah mengalami pengelasan dan pembongkaran berulang kali (dalam hal ini 4 kali) sehingga menyebabkan perubahan-perubahan metalurgis pada daerah pengelasan, terutama pada daerah HAZ. Pada daerah HAZ ini disamping bertambah lebar juga terjadi pengerasan yang tinggi akibat terbentuknya struktur dengan grain size yang halus sehingga menyebabkan material menjadi brittle. Dengan adanya perlakuan tersebut juga akan mengakibatkan cacat pada daerah weld metal maupun HAZ antara lain karena penggerindaan yang kurang bersih setelah dilakukan gouging sehingga akan menimbulkan slag inclusion pada daerah tersebut. Disamping itu tegangan sisa yang terjadi akan bertambah besar sehingga dengan adanya hal tersebut juga akan menyebabkan material menjadi brittle.

Untuk lebih memperkuat dalam analisa perbandingan uji impact diatas, berikut ini ditunjukkan prosentase penampang patahan geser dan sudut yang dibentuk dari hasil uji impact yang diambil satu spesimen untuk masing-masing tahap pengelasan dengan notch pada weld metal dan satu spesimen material murni. Penentuan prosentase patahan geser dilakukan dengan cara interpolasi yang berdasarkan pada tabel 1 dan 2 ASTM E-23 (seperti terlihat pada lampiran II) dari penampang patahan spesimen (lihat lampiran III). Semakin ductile suatu material, semakin besar prosentase patahan gesernya, demikian juga sebaliknya. Hal ini terbukti pada prosentase patahan geser hasil pengujian impact spesimen I, II, III, IV dan V berikut ini :



Gbr. 4.7 Penampang samping spesimen hasil uji impact.



Gbr. 4.8 Penampang patahan hasil uji impact.

Tabel 4.1 Prosentase dan sudut patahan hasil uji impact

Spesimen	A [mm]	B [mm]	Prosentase patahan geser [%]	Sudut patahan	Keterangan
I	6,14	5,45	59,32	55,4	Ductile
II	6,25	5,5	57,50	35,2	Ductile
III	6,45	6,0	52,35	0	Ductile
IV	7,12	6,35	43,34	0	Brittle
V	6,0	5,42	60,46	56,8	Ductile

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan analisa hasil analisa pengujian pada material SS 41 akibat pengelasan ulang terhadap kekerasan dan ketangguhan lasan serta perubahan struktur mikronya dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari semua rangkaian percobaan yang dilakukan telah memberikan hasil yang saling mendukung, hal ini menunjukkan bahwa percobaan dalam penelitian tugas akhir ini cukup berhasil.
2. Dari pengujian kekerasan didapatkan hasil bahwa setelah material mengalami pengelasan ulang (dalam hal ini 4 kali), terjadi perubahan nilai kekerasan baik pada daerah base metal, weld metal, fusion line maupun HAZ. Perubahan terbesar terjadi pada daerah HAZ, dimana nilai kekerasannya pada pengelasan 1 kali sebesar 124,86 HB dan setelah dilakukan pengelasan 4 kali berubah menjadi 186,384 HB.
3. Dari uji impact didapatkan hasil bahwa nilai Kuat Impact (IS) material setelah mengalami pengelasan ulang sampai 4 kali turun menjadi lebih kurang 1/2 kalinya nilai Kuat Impact (IS) material murni. Dan dari pengamatan secara visual pada penampang patahan spesimen didapatkan hasil bahwa prosentase patahan geser akibat pengelasan ulang sampai 4 kali semakin kecil (brittle), sehingga dapat dikatakan bahwa material lasan tersebut tidak layak lagi dipakai dalam konstruksi.
4. Sedangkan dari hasil fotomikro dapat dilihat bahwa struktur mikro pada daerah weld metal maupun HAZ mengalami perubahan secara metalurgis terutama pada HAZ, dimana akibat heat input yang tinggi akan menyebabkan peak-temperature dan

cooling rate yang besar pula, sehingga struktur akhir pada daerah tersebut menjadi butiran-butiran dengan grain size yang halus, yang mengakibatkan material lasan menjadi keras dan brittle.

5.2. SARAN

Suatu penelitian tentu tidak akan bisa secara mutlak memberikan hasil yang sempurna, untuk itu penulis memberikan saran antara lain sebagai berikut :

- Banyak faktor yang mempengaruhi hasil pengelasan ulang tersebut, antara lain : cara pembongkaran yang dilakukan, kecepatan dan arus pengelasan yang digunakan dan faktor manusianya (welder), sehingga perlu dilakukan penelitian tersendiri guna mendapatkan hasil yang lebih sempurna.

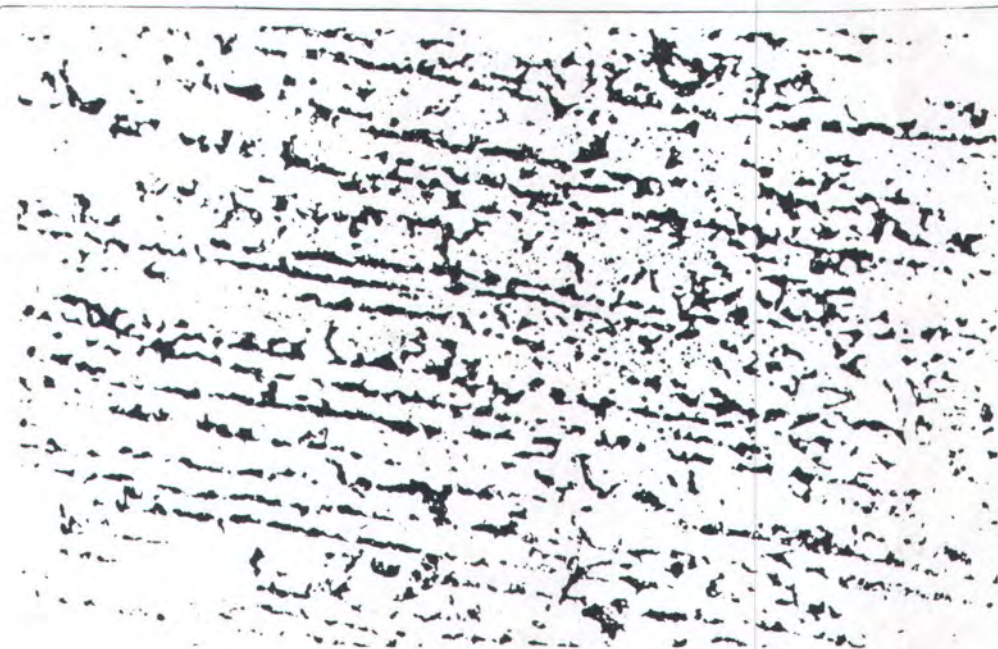
DAFTAR PUSTAKA

1. Wiryosumarto, H dan Okumura, T, **Teknologi Pengelasan Logam**, PT Pradnya Paramita, Jakarta 1981.
2. ASTM, **Metal Mechanical Testing**, Volume 03.01 E-23, Annual Book of ASTM Standards, 1986.
- 3 Diklat Inspektur Las, **Metalurgi Pengelasan**, Politeknik Perkapalan ITS Surabaya 13 April - 10 Juni 1996.
4. K.Affandi, Dindin, **Pengujian Secara Merusak (Destructive Test)**, Penataran Inspektur Las Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Bahan dan Barang Teknik, Bandung.
5. Kearns, W. H, **Metals and Theirs Weldability**, Welding Hand Book, seventh editions, Vol.4.
6. Weisman, Charlotte, **Fundamentals of Welding**, Welding Hand Book, seventh editions, Vol.1.
7. Soeweify, **Diktat Teknik Las**, FTK ITS.
8. Suherman, W, **Diktat Ilmu Logam I**, Teknik Mesin FTI ITS.
9. ESAB, **Buku Pedoman mengenai Pengelasan Untuk Berbagai Pekerjaan Reparasi.**, PT Esabindo Pratama.
- 10.Esaterling, K, Dr.Tech Sci, **Introduction to the Physical Metalurgy of Welding**, Butterworths & Co.Ltd, 1983.
11. Muhyudi, **Analisa Pengaruh Heat Threatment pada Pengelasan SMAW Baja Kekuatan Tinggi (60 kg/mm^2) terhadap Kekerasan dan Ketangguhan Lasan**, TA, Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS , 1996.

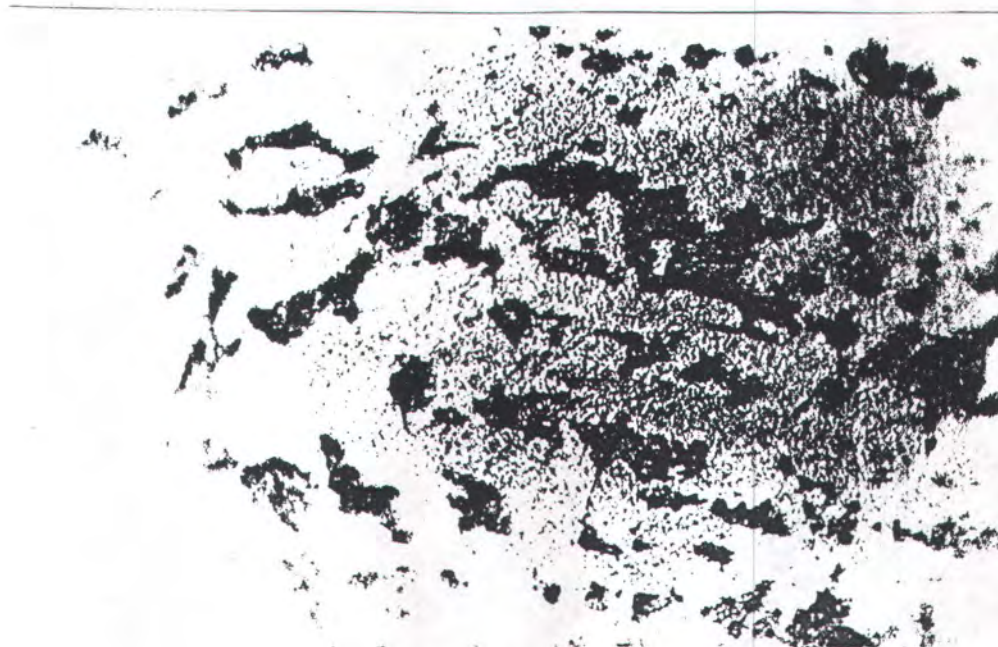
12. E. Dieter, George, Prof, **Metalurgi Mekanik Jilid I**, dengan alih bahasa oleh Djaprie, Sriati, Ir, M.E, M.Met , Airlangga, Jakarta, 1987.

LAMPIRAN I
HASIL FOTO MIKRO SPESIMEN

1. Material murni (spesimen V)

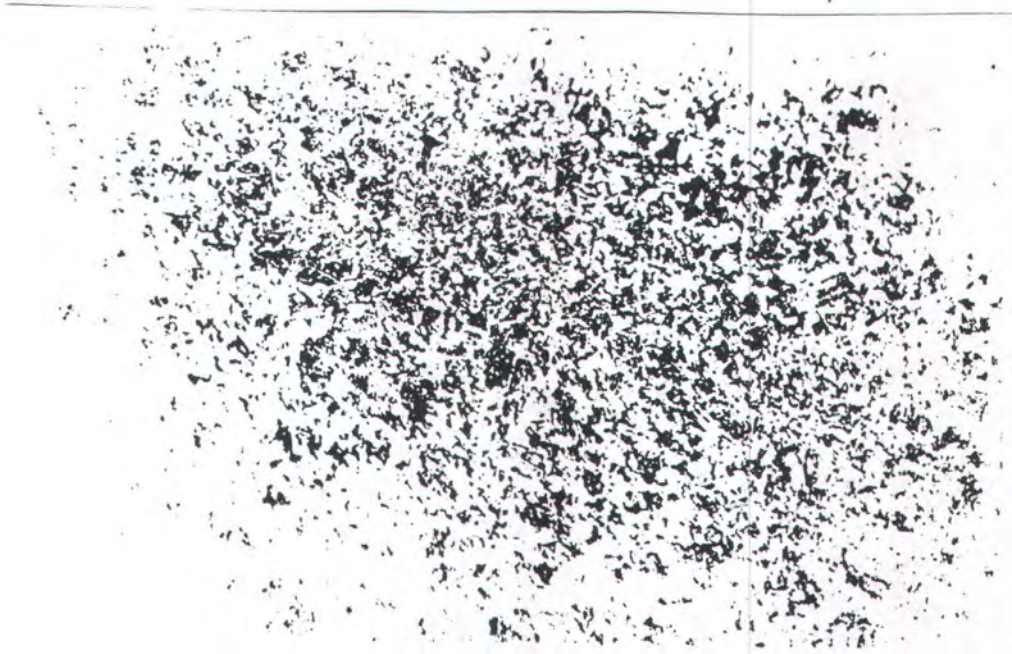


Gbr. a Perbesaran 100x

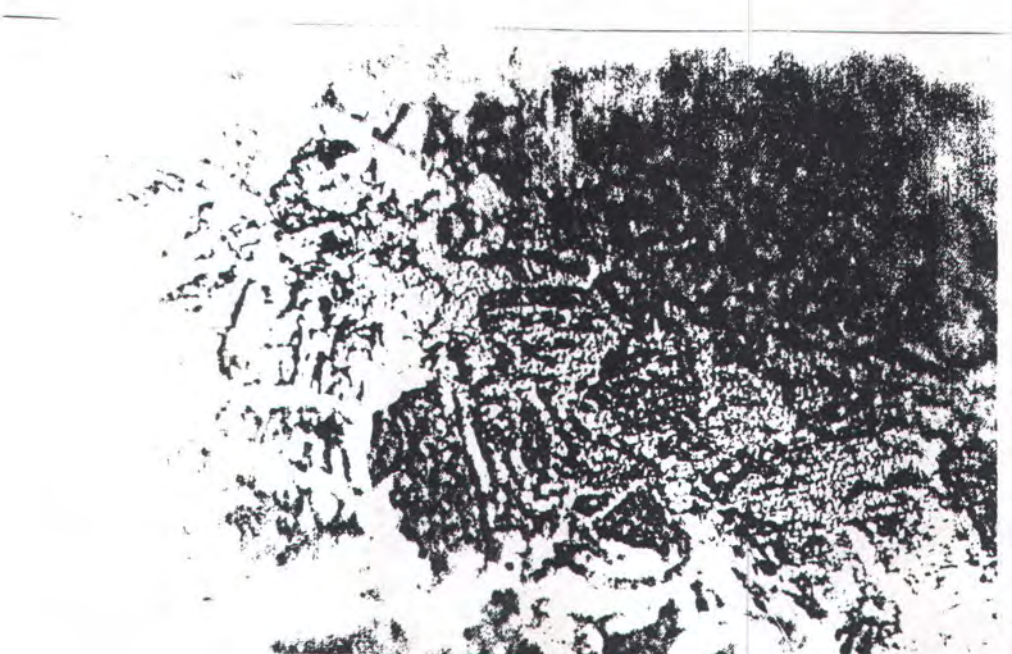


Gbr.b Perbesaran 400x

2. Material dengan pengelasan 1x (spesimen I)

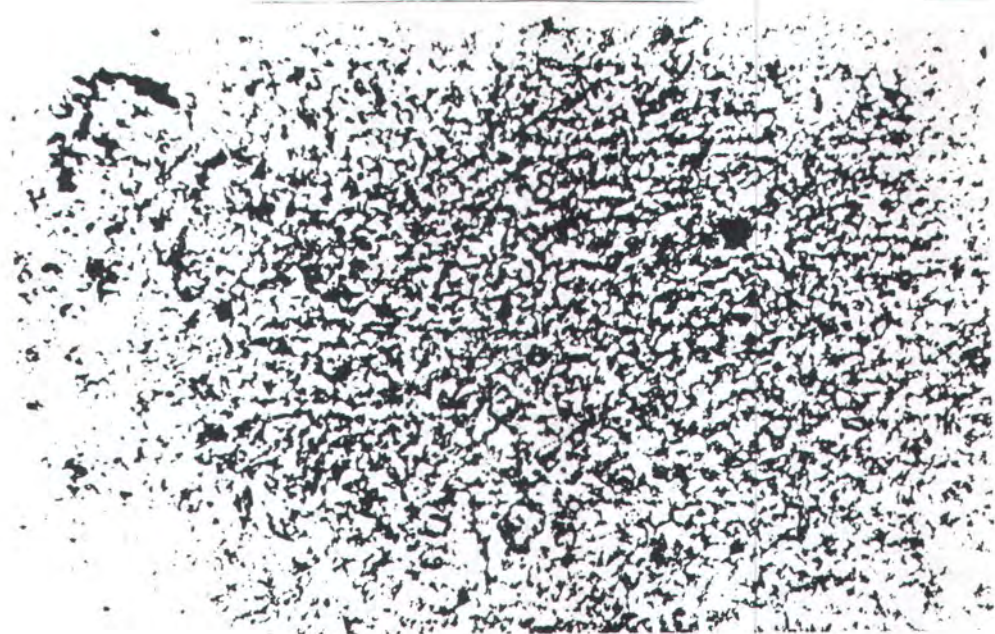


Gbr.a Daerah HAZ (Perbesaran 100x)



Gbr.b Daerah HAZ (Perbesaran 400x)

3. Material dengan pengelasan 2x (spesimen II)



Gbr.a Daerah HAZ (Perbesaran 100x)

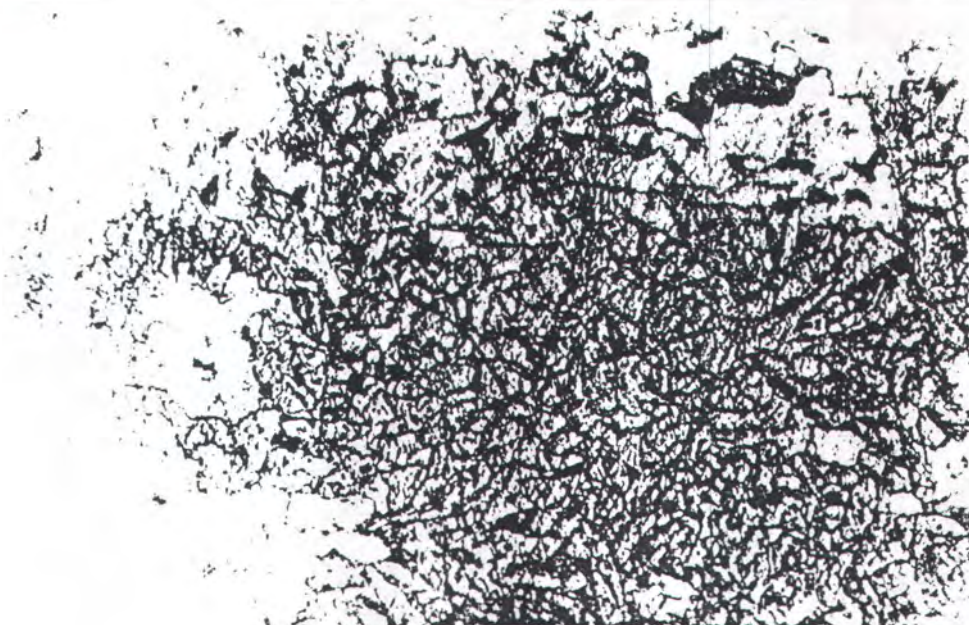


Gbr.b Daerah HAZ (Perbesaran 400x)

4. Material dengan pengelasan 3x (spesimen III)



Gbr.a Daerah HAZ (Perbesaran 100x)

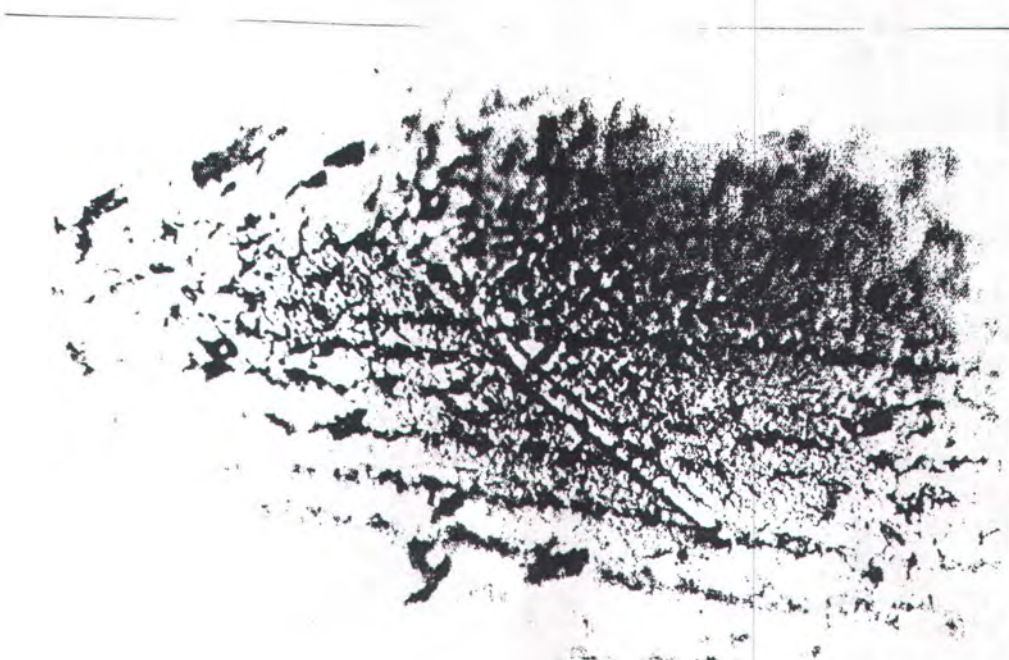


Gbr.b Daerah HAZ (Perbesaran 400x)

5. Material dengan pengelasan 4x (spesimen IV)



Gbr.a Daerah HAZ (Perbesaran 100x)

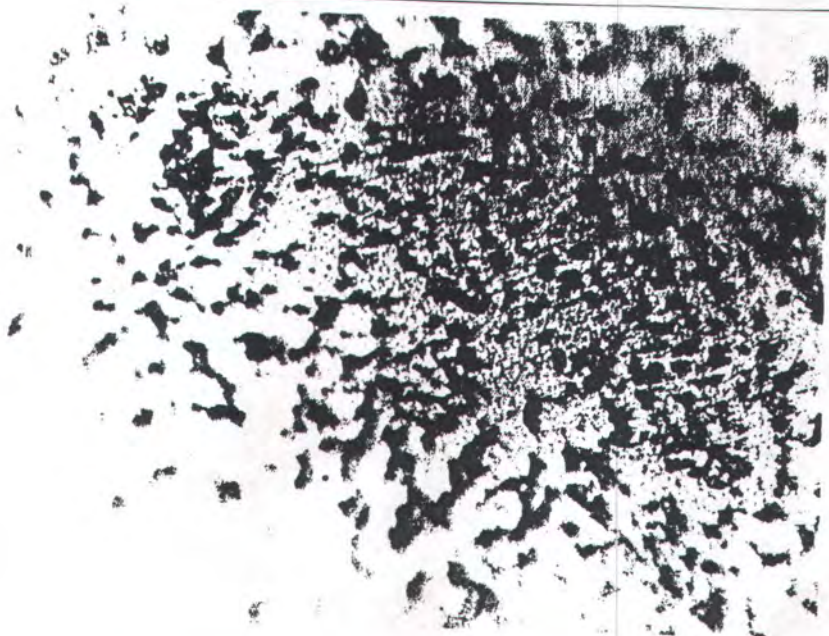


Gbr.b Daerah HAZ (Perbesaran 400x)

2. Material dengan pengelasan 1x (spesimen I)

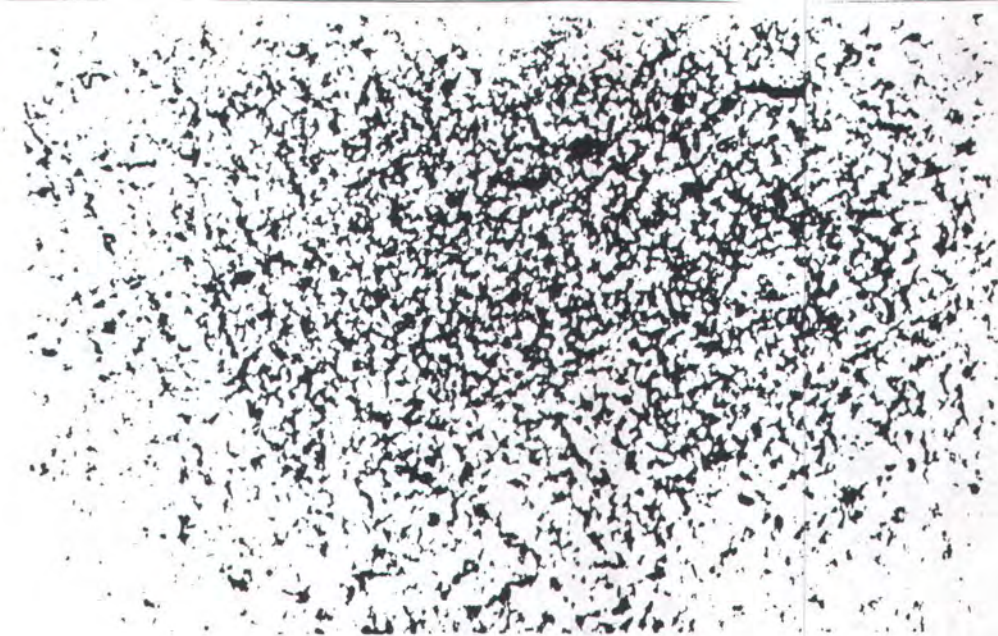


Gbr.a Daerah Weld Metal (Perbesaran 100x)

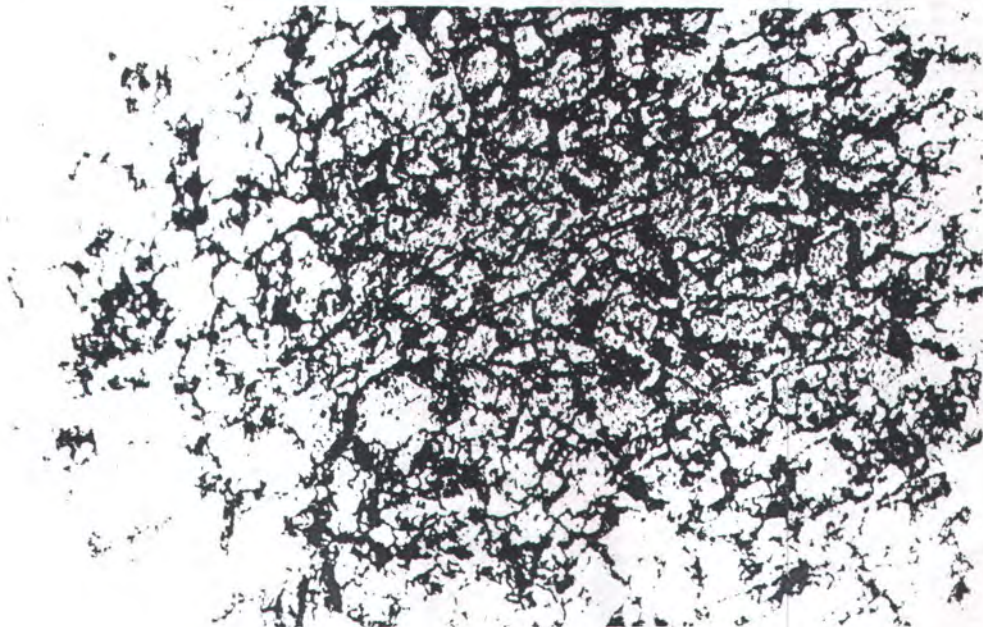


Gbr.b Daerah Weld Metal (Perbesaran 400x)

3. Material dengan pengelasan 2x (spesimen II)

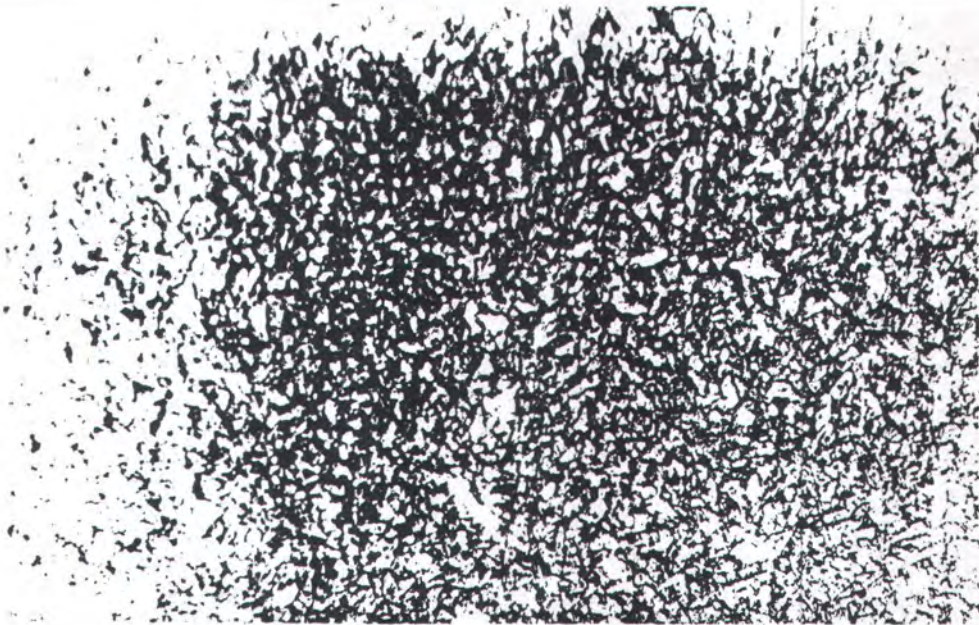


Gbr.a Daerah Weld Metal (Perbesaran 100x)

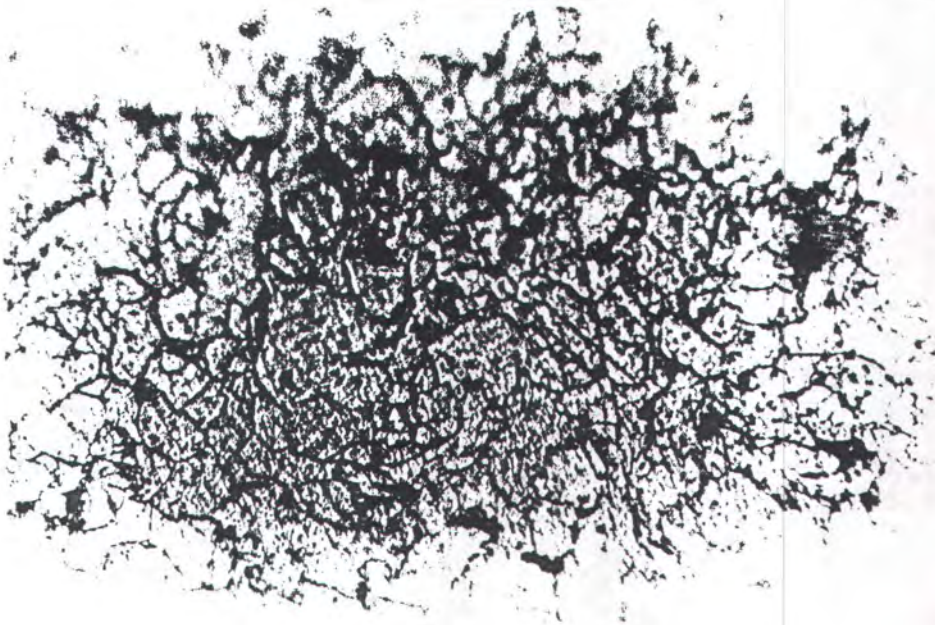


Gbr.b Daerah Weld Metal (Perbesaran 400x)

4. Material dengan pengelasan 3x (spesimen III)



Gbr.a Daerah Weld Metal (Perbesaran 100x)

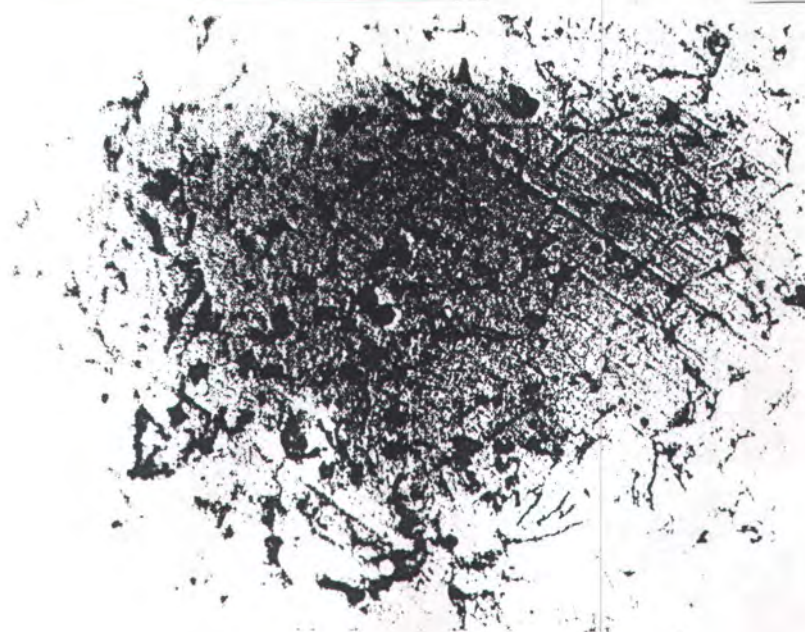


Gbr.b Daerah Weld Metal (Perbesaran 400x)

5. Material dengan pengelasan 4x (spesimen IV)



Gbr.a Daerah Weld Metal (Perbesaran 100x)



Gbr.b Daerah Weld Metal (Perbesaran 400x)

LAMPIRAN II

TABLE 1 Percent Shear for Measurements Made in Millimetres

NOTE—100 % shear is to be reported when either *A* or *B* is zero.

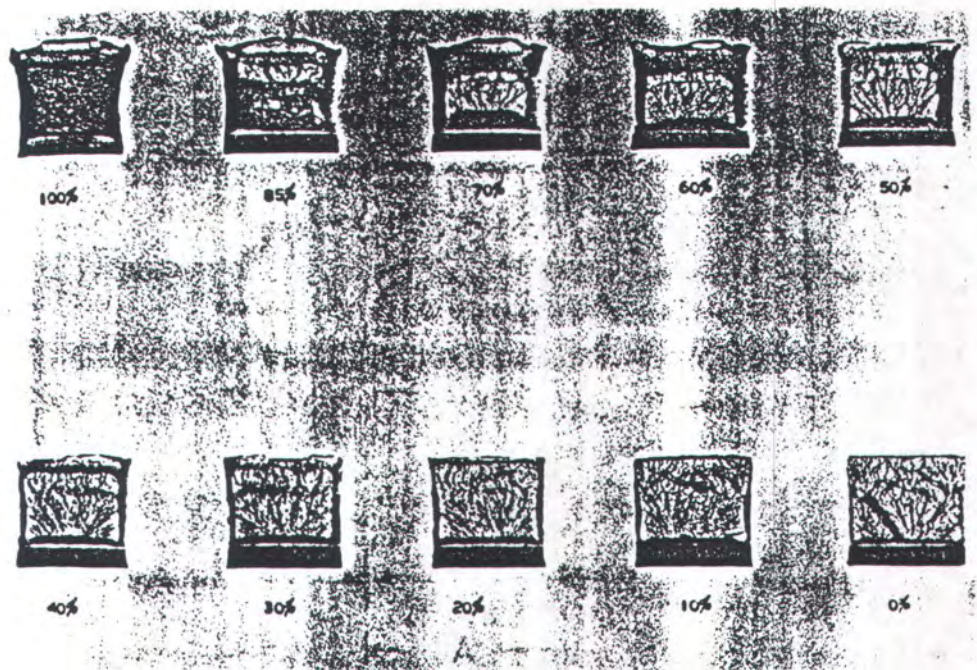
Dimension <i>B</i> , mm	Dimension <i>A</i> , mm																			
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10	
1.0	99	98	98	97	96	96	95	94	94	93	92	92	91	91	90	89	89	88	88	
1.5	98	97	96	95	94	93	92	92	91	90	89	88	87	86	85	84	83	82	81	
2.0	98	96	95	94	92	91	90	89	88	86	85	84	82	81	80	79	77	76	75	
2.5	97	95	94	92	91	89	88	86	84	83	81	80	78	77	75	73	72	70	69	
3.0	96	94	92	91	89	87	85	83	81	79	77	76	74	72	70	68	66	64	62	
3.5	96	93	91	89	87	85	82	80	78	76	74	72	69	67	65	63	61	58	56	
4.0	95	92	90	88	85	82	80	77	75	72	70	67	65	62	60	57	55	52	50	
4.5	94	92	89	86	83	80	77	75	72	69	66	63	61	58	55	52	49	46	44	
5.0	94	91	88	85	81	78	75	72	69	66	62	59	56	53	50	47	44	41	37	
5.5	93	90	86	83	79	76	72	69	66	62	59	55	52	48	45	42	38	35	31	
6.0	92	89	85	81	77	74	70	66	62	59	55	51	47	44	40	36	33	29	25	
6.5	92	88	84	80	76	72	67	63	59	55	51	47	43	39	35	31	27	23	19	
7.0	91	87	82	78	74	69	65	61	56	52	47	43	39	34	30	26	21	17	12	
7.5	91	86	81	77	72	67	62	58	53	48	44	39	34	30	25	20	16	11	6	
8.0	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0	

TABLE 2 Percent Shear for Measurements Made in Inches

NOTE—100 % shear is to be reported when either *A* or *B* is zero.

Dimension <i>B</i> , in.	Dimension <i>A</i> , in.																	
	0.05	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	
0.05	98	96	95	94	94	93	92	91	90	90	89	88	87	86	85	85	84	
0.10	96	92	90	89	87	85	84	82	81	79	77	76	74	73	71	69	68	
0.12	95	90	88	86	85	83	81	79	77	75	73	71	69	67	65	63	61	
0.14	94	89	86	84	82	80	77	75	73	71	68	66	64	62	59	57	55	
0.16	94	87	85	82	79	77	74	72	69	67	64	61	59	56	53	51	48	
0.18	93	85	83	80	77	74	72	68	65	62	59	56	54	51	48	45	42	
0.20	92	84	81	77	74	72	68	65	61	58	55	52	48	45	42	39	36	
0.22	91	82	79	75	72	68	65	61	57	54	50	47	43	40	36	33	29	
0.24	90	81	77	73	69	65	61	57	54	50	46	42	38	34	30	27	23	
0.26	90	79	75	71	67	62	58	54	50	46	41	37	33	29	25	20	16	
0.28	89	77	73	68	64	59	55	50	46	41	37	32	28	23	18	14	10	
0.30	88	76	71	66	61	56	52	47	42	37	32	27	23	18	13	9	3	
0.31	88	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	18	10	5	0	

LAMPIRAN III



(a) Fracture Appearance Charts and Percent Shear Fracture Comparator



(b) Guide for Estimating Fracture Appearance Using SWAG Method

FIG. 15 Fracture Appearance

HEAD OFFICE : PT. KALAS BAJA, Jalan Gajah Mada No. 84 Jakarta Selatan
 Phone : 210214, 210454, 210811, 211790, 2705470
 2705471, 2705472, 2705985, 2704010
 Facsimile : 2705478 & 2704708
 Telex : 47956 A 22993 PTAS IA
 P.O. Box : 174 JKT - Indonesia

FIELD OFFICE : Cilegon - West Java
 Phone : 2702969 (4 lines) 2702173 (2 lines)
 Facsimile : 248275, 2702156, 2702181, 2702883
 Telex : 45595, 44490 P.S. LOG M - 45233 K.C. PROD M
 P.O. Box : 14 Cilegon

MILL CERTIFICATE

BUYER : PT. KALAS
 JL. CIRINDI 4 NO.11 JAKARTA
 JAKARTA

LC. NO.
 CERTIFICATE NO. : C1F127801/257257HC/DH/1X/91
 D A T E : SEPTEMBER 27, 1991
 PURCHASE ORD. NO.
 DELIVERY ORD. NO.
 SUPPLIER ORD. NO.
 ORDER NUMBER : F127801

SUPPLIER :
 COMMODITY : PRIME HEAVY PRODUCED HOT ROLLED
 STEEL SHEET/PLATE, CUT TO LENGTH
 SPECIFICATION : SUP. PLATE
 HD GRADE "A"

PAGE : 001 OF 001

HEAT NO.	HEAT NO.	COIL NO.	TEST NO.	DIMENSION	CHEMICAL COMPOSITION (WGT. %)						TENSILE TEST			IMPACT	REMARK		
					C	SI	MN	P	S	AL	RE	RM	A				
1576452	1400	HR	1576452	2805	1576452	7.00X1524X	6096	9116.0	1.9	54.6	1.2	0.8	2.1	338	460	24	
	1200	HR	1576453	2801	1576453			91						302	468	20	
		HR	1576413	2802				91									
1576454	1400	HR	1576454	2803	1576454	9.00X1524X	6096	9117.1	2.1	50.0	1.2	0.9	1.0	348	460	20	
1576455	1400	HR	1576455	2804	1576455	9.00X1524X	6096	9117.3	1.8	50.9	1.2	0.9	0.9	348	461	24	
1576456	1400	HR	1576456	2805	1576456	10.00X1524X	6096	9117.7	1.8	57.2	1.7	0.9	1.0	350	473	20	
1576457	1400	HR	1576457	2806	1576457	10.00X1524X	6096	9117.6	1.2	51.5	1.4	0.7	1.4	348	473	22	
		HR	1576458	2807				61									
		HR	1576459	2808				61									
1576460	1400	HR	1576460	2809	1576460	11.00X1524X	6096	9119.1	1.0	55.2	1.1	1.0	1.1	354	483	21	
		HR	1576461	2810				61									
		HR	1576462	2811				61									
1576463	1200	HR	1576463	2812	1576463	10.00X1524X	6096	9116.5	1.7	57.4	1.6	1.0	1.1	342	471	21	
1576464	1200	HR	1576464	2813	1576464	10.00X1524X	6096	9117.7	1.7	57.5	1.5	0.8	1.4	341	451	24	
		HR	1576465	2814				51									
1576466	1200	HR	1576466	2815	1576466	10.00X1524X	6096	9117.6	1.9	54.9	1.7	0.9	1.1	355	478	24	
1576467	1200	HR	1576467	2816	1576467	10.00X1524X	6096	9117.7	2.0	55.3	1.7	1.0	1.2	309	453	20	
		HR	1564305	4203				31									



NOTES : HR-KILLED, RR-SPECIAL KILLED (FINE GRAIN TREATMENT)

SURVEYOR TO

PT. KALAS BAJA, INDONESIA

WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL HEREIN DESCRIBED HAS BEEN MADE BY THE ELECTRIC FURNACE PROCESS APPROVED BY AND IN ACCORDANCE WITH THE RULES OF PT. KALAS BAJA, INDONESIA FOR GRADE "A" STEEL AND IS THAT WHICH HAS BEEN TESTED IN THE PRESENCE OF THE SOCIETY'S REPRESENTATIVE WITH SATISFACTORY RESULT.

DIVISION OF METALLURGY





FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN ITS

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

DAFTAR KEMAJUAN TUGAS AKHIR (NA 1701)

nama mahasiswa : Setia Budi
R.P. : 4904100342
masa diberikan : Semester Genap 19 95 / 19 96
tanggal mulai tugas : 14 Maret 1996
tanggal selesai tugas : 26 Juli 1996
Pembimbing : 1. Ir. Soewify, M.Eng
2.

Tanggal	Uraian Kemajuan Tugas	Tanda Tangan
18/3 '96	Perbaikan proposal Tugas Akhir	
23/4 '96	BAB I Pendahuluan selesai	
1/5 '96	BAB II selesai	
13/5 '96	Menentukan ukuran specimen dan welding Procedure utk 1 macam specimen	
23/5 '96	Pembongkaran mekanis di lab. Perbaikan dengan Poltek - ITS	
25/5 '96	Pengelasan material uji dan pembongkaran (Ecung) di lab. Produksi FTK - ITS	
27/5 '96	Homologasi specimen laser di lab. Produksi FTK - ITS	
6/6 '96	Pengelasan & penghalutan specimen di lab. Material Inst Poltek Perkapalan - ITS	

lihat halaman berikutnya

[illegible]

atan :

Formulir ini harus dibawa pada saat konsultasi konsultasi dilaksanakan minimal seminggu sekali.

formulir ini harus dikumpulkan kembali pada saat mengumpulkan laporan tugas akhir.

Surabaya,19 ..
Dosen Pembimbing,

NIP.

